
DIPLOMARBEIT

Herr Ing.
Matija Marjanovic

Normgerechte Trinkwasser- erwärmung mittels Wärmepumpen

Mittweida, 2014

DIPLOMARBEIT

Normgerechte Trinkwasser- erwärmung mittels Wärmepumpen

Autor:
Herr Ing.

Matija Marjanovic

Studiengang:
Maschinenbau/Gebäudetechnik

Seminargruppe:
KM10wGVA-F

Erstprüfer:
Prof. Dr. Ing. Jörg Mehlis

Zweitprüfer:
Dipl.-Ing. Gabriele Endres

Einreichung:
Mittweida, 10.07.2014

Verteidigung/Bewertung:
Mittweida, 2014

DIPLOMA THESIS

Standardized drinking water heating by use of heat pumps

author:

Mr. Ing

Matija Marjanovic

course of studies:

Mechanical/Facilities Engineering

seminar group:

KM10wGVA-F

first examiner:

Prof. Dr. Ing. Jörg Mehlis

second examiner:

Dipl.-Ing. Gabriele Endres

submission:

Mittweida, 10.07.2014

defence/ evaluation:

Mittweida, 2014

Bibliografische Beschreibung:

Marjanovic, Matija:

Normgerechte Trinkwassererwärmung mittels Wärmepumpen. - 2014. - VIII, 87, 5 S. Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau/Gebäudetechnik, Diplomarbeit, 2014

Referat:

Diese Arbeit befasst sich hauptsächlich damit die technisch und wirtschaftlich geeignetste Variante zu finden, um das Trinkwasser mittels Wärmepumpen in mehrstöckigen Wohnhäusern nach ÖNORM B5019 zu erwärmen und auf 65°C zu halten. Dabei müssen die Effizienz, sowie auch die Anschaffungs- und Wartungskosten berücksichtigt werden. Die Erfüllung der Normvorschriften, die Betriebskosten sowie die möglichst lange Lebensdauer der Wärmepumpe stehen dabei im Vordergrund.

Danksagung

Zunächst einmal möchte ich meiner Frau Marina danken. Sie hat mich nicht nur zu diesem Studium ermutigt, sondern hat mir auch während dieser Zeit immer geholfen, wo immer sie nur konnte. Bei der Diplomarbeit ist sie mir mit vielen guten Ratschlägen zur Seite gestanden und hat auch die Korrektur übernommen.

Diese Arbeit ist somit meiner wunderbaren Frau gewidmet.

Ich danke meinen Eltern, die stets an mich geglaubt haben. Ohne deren Motivation wäre dieses Studium wohl nie möglich gewesen. Ich danke meinen Geschwistern, weil sie für mich da waren und nie an meinem Können gezweifelt haben.

Meinen beiden Lieblings-Cousins danke ich für ein stets offenes Ohr und die langen und interessanten Gespräche, die ich mit ihnen führen durfte.

Ich danke auch allen anderen Freunden, Verwandten und Kollegen, die mich während meines Studiums geprägt haben.

Ebenfalls ein großer Dank gilt meinem Betreuer Herrn Prof. Dr. Ing. Mehliß. Durch seine wertvollen Hinweise und Impulse war es mir möglich diese Arbeit bestmöglich zu verfassen.

Inhalt

Inhalt	I
Abbildungsverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Aufbau der Diplomarbeit	2
1.3 Zielsetzung	2
2 Grundlagen der Wärmepumpe	3
2.1 Argumente für die Wärmepumpe	3
2.1.1 Umwelt und Energie	3
2.1.2 Unabhängigkeit	3
2.1.3 Betriebskosten	4
2.1.4 Komfort	4
2.1.5 Zukunft	5
2.1.6 Förderungen	8
2.2 Aufbau und Funktion der Wärmepumpe	9
2.2.1 Prinzip	9
2.2.2 Aufbau und Komponenten	10
2.2.3 Kältekreislauf	13
2.2.4 Kreisprozess nach Carnot	14
2.2.5 Arbeitsmittel	16
2.2.6 h-log-p Diagramm	17
2.2.7 Leistungszahl	18
2.2.8 Jahresarbeitszahl	20
2.3 Betriebsarten der Wärmepumpe	20
2.3.1 Monovalente Betriebsweise	20
2.3.2 Bivalente Betriebsweise	21
2.3.3 Bivalent- alternativ	21
2.3.3.1 Bivalent- parallel	22
3 Bauarten der Wärmepumpe	23
3.1 Systematik und Benennungen	23

3.2	<i>Sole/Wasser- Wärmepumpen</i>	24
3.2.1	Aufbau	24
3.2.2	Bauarten	25
3.2.3	Flachkollektor	25
3.2.3.1	Tiefensonde	26
3.2.4	Vor- und Nachteile	28
3.3	<i>Direktverdampfer- Wärmepumpen</i>	28
3.3.1	Aufbau	28
3.3.2	Bauarten	29
3.3.3	Vor- und Nachteile	30
3.4	<i>Wasser/Wasser- Wärmepumpen</i>	31
3.4.1	Aufbau	31
3.4.2	Bauarten	32
3.4.3	Vor- und Nachteile	33
3.5	<i>Luft/Wasser- Wärmepumpen</i>	34
3.5.1	Aufbau	34
3.5.2	Bauarten	35
3.5.2.1	Kompaktanlagen	35
3.5.2.2	Splitanlagen	36
3.5.3	Vor- und Nachteile	37
4	Wärmequellen der Wärmepumpe	39
4.1	<i>Erdreich als Wärmequelle</i>	39
4.1.1	Erdreichnutzung mittels Flachkollektor	39
4.1.2	Erdreichnutzung mittels Tiefensonde	41
4.2	<i>Wasser als Wärmequelle</i>	43
4.3	<i>Luft als Wärmequelle</i>	46
5	Trinkwassererwärmung mittels Wärmepumpen	51
5.1	<i>Allgemeine Hinweise</i>	51
5.2	<i>Warmwasser-Bedarf</i>	52
5.3	<i>Systeme</i>	53
5.3.1	Trinkwassererwärmung mit der Heizungs-Wärmepumpe	53
5.3.1.1	Trinkwassererwärmung über einen Registerspeicher	54
5.3.1.2	Trinkwassererwärmung über einen Doppelmantelspeicher	54
5.3.1.3	Trinkwassererwärmung über einen Multifunktionsspeicher	55
5.3.1.4	Trinkwassererwärmung mittels Frischwassermodule	57
5.3.2	Trinkwassererwärmung mit der Warmwasser-Wärmepumpe	59
6	Trinkwassernormen	63

6.1	<i>DVGW Arbeitsblatt W 551</i>	63
6.1.1	Norm-Titel	63
6.1.2	Anwendungsbereich	63
6.1.3	Begriffsbestimmungen	64
6.1.4	Anforderungen an den Betrieb	65
6.1.5	Ziele des DVGW W551	66
6.2	<i>ÖNORM B 5019</i>	66
6.2.1	Norm-Titel	66
6.2.2	Anwendungsbereich	66
6.2.3	Begriffsbestimmungen	67
6.2.4	Anforderungen an den Betrieb	68
6.2.5	Ziele der ÖNORM B 5019	69
6.3	<i>Legionellen</i>	70
7	Varianten zur energieoptimierten Warmwasser-Erzeugung	73
7.1	<i>Problemstellung</i>	73
7.2	<i>Lösungsvarianten durch Erfüllung der Normkriterien</i>	75
7.2.1	Hochtemperatur-Wärmepumpen	75
7.2.1.1	Firma Ochsner	75
7.2.1.2	Firma Viessmann	77
7.2.2	Zweistufige Trinkwassererwärmung mit Frischwassermodulen	80
7.3	<i>Lösungsvarianten außerhalb des Geltungsbereichs</i>	82
7.3.1	Dezentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmung	82
7.3.2	Warmwasser-Wärmepumpen als dezentrale Variante	84
8	Fazit und Ausblick	87
Literatur	89
Selbstständigkeitserklärung	93

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Brennstoffkosten €/ Jahr Heizung und Warmwasser	4
Abb. 2: Entwicklung der Rohölpreise 1965-2013	6
Abb. 3: Reichweite der Energiereserven bei gegenwärtiger Förderung in Jahren, Stand 2005	7
Abb. 4: Wachstum der Branche „erneuerbare Energien“ und damit der Gewinn von Arbeitsplätzen in Deutschland	8
Abb. 5: Scroll-Kompressor	10
Abb. 6: Edelstahl-Plattenwärmetauscher	11
Abb. 7: Thermostatisches Expansionsventil Danfoss	12
Abb. 8: KNV Luft/Wasser-Split Wärmepumpe Innenleben	13
Abb. 9: Kältekreislauf einer Sole/Wasser Wärmepumpe	14
Abb. 10: Carnot-Prozess im T-s Diagramm	15
Abb. 11: Abhängigkeit Leistungszahl zu Temperaturdifferenz	16
Abb. 12: Physikalische Eigenschaften gängiger Kältemittel	17
Abb. 13: Theoretischer Wärmepumpenprozess im h-log-p Diagramm	18
Abb. 14: Monovalente Betriebsweise	21
Abb. 15: Bivalent-alternative Betriebsweise	22
Abb. 16: Bivalent-parallele Betriebsweise	22
Abb. 17: Beispiel Benennung einer Sole-Wasser WP	24
Abb. 18: Schema Sole/Wasser Wärmepumpe	24
Abb. 19: Darstellung Flachkollektor	25
Abb. 20: Darstellung Flachkollektor	26
Abb. 21: Duplexsonde Prinzip	27
Abb. 22: Einbau von Erdsonden	27
Abb. 23: Schema Direktverdampfer- Wärmepumpe	29
Abb. 24: Technisches Datenblatt Direktverdampfer-Wärmepumpe	30
Abb. 25: Darstellung Wasser/Wasser-Wärmepumpe mit Brunnen	31
Abb. 26: Schema Wasser/Wasser- Wärmepumpe mit Systemtrennung	32
Abb. 27: Schema Luft/Wasser- Wärmepumpe	34

Abb. 28: Luft/Wasser Wärmepumpenanlage mit Innenaufstellung	35
Abb. 29: Luft/Wasser Wärmepumpe-Außenaufstellung	36
Abb. 30: Luft/Wasser Wärmepumpe-Splitausführung	37
Abb. 31: Bodenbeschaffenheit-Entzugsleistungen	40
Abb. 32: Temperaturverlauf Erdreich	42
Abb. 33: Entzugsleistungen der verschiedenen Bodenklassen	42
Abb. 34: Richtwerte wichtiger Wasserinhaltsstoffe	45
Abb. 35: Leistungsdiagramm LWSE-F	47
Abb. 36: Warmwasserbedarf für Wohnungen bei einmaliger Entnahme	53
Abb. 37: Schnittdarstellung eines Registerspeichers	54
Abb. 38: Schnittdarstellung eines Doppelmantelspeichers	55
Abb. 39: Schnittdarstellung eines Multifunktionsspeichers	56
Abb. 40: Anschluss Pufferspeicher mit Frischwassermodul	58
Abb. 41: CEFT Frischwassermodul	58
Abb. 42: Prinzipieller Aufbau einer Warmwasser-Wärmepumpe	60
Abb. 43: Anwendungsmöglichkeiten einer Warmwasser-Wärmepumpe	61
Abb. 44: TWE-Anlage im Durchflusssystem	69
Abb. 45: Mikroskopische Ansicht von Legionellen	71
Abb. 46: Legionellen-Infektionen Österreich	72
Abb. 47: Einsatzgrenze Sole/Wasser Topline 1145	74
Abb. 48: IWHSS Hochtemperatur-Wärmepumpe Firma Ochsner	76
Abb. 49: Viessmann Vitocal 350-G	78
Abb. 50: Viessmann Vitocal 350-G PRO	78
Abb. 51: Zweistufige Trinkwassererwärmung mit Frischwassermodulen	81
Abb. 52: Rohrlängen bei 3 Liter Leitungsinhalt	83
Abb. 53: Dezentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmung	83
Abb. 54: Warmwasser-Wärmepumpe je Wohnung	84

Abkürzungsverzeichnis

“	Zoll
A	Air (Luft)
a	Jahr
Abb.	Abbildung
B	Brine (Sole)
BP	Bivalenzpunkt
c	spezifische Wärmekapazität
CO₂	Kohlenstoffdioxid
COP, ϵ	Leistungsziffer
DGVW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V.
E	Earth (Erde)
EN	Europäische Norm
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
FKW	Fluorkohlenwasserstoffe
h	Enthalpie
JAZ	Jahresarbeitszahl
K	Kelvin
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde

kWp	Kilowatt peak
l_{fm}	Laufmeter
log	Logarithmisch
ÖNORM	Österreichische Norm
p	Druck
PE	Polyethylen
s	Entropie
T	Temperatur
T_a	Außentemperatur
TWE	Trinkwassererwärmer
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
W	Water (Wasser)
WP	Wärmepumpe

1 Einleitung

1.1 Motivation

Die Idee zu dieser Diplomarbeit hatte ich während meiner Tätigkeit als technischer Angestellter bei der Fa. KNV Energietechnik aus Schörfling am Attersee. Das Unternehmen ist einer der führenden Wärmepumpenproduzenten in Österreich.

Zu meinen dortigen Aufgaben gehörte vor allem die Planung von Wärmepumpenheizungen. Nach einer Anfrage eines Installateur-Partners ihm bei der Planung einer Wärmepumpenanlage für ein vierstöckiges Wohnhaus zu helfen, tauchte ein Problem auf. Die Herausforderung hierbei war es herauszufinden, wie die Trinkwasserbereitung ausgeführt werden sollte.

Leider machte uns die Trinkwassernorm mit ihren hohen Temperaturanforderungen einen Strich durch die Rechnung, und da das Projekt schnell geplant werden musste, hatten wir auch keine Zeit für lange Überlegungen. So entschied sich der Installateur schlussendlich für den Einbau einer Gastherme. Diese Entscheidung des Installateurs bereitete mir noch einige Wochen Kopfzerbrechen. Durch diese Schwachstelle passiert es sicherlich öfters, dass Wärmepumpen-Herstellern, trotz ständig steigender Energiepreise, Aufträge an Gas- und Ölkessel-Hersteller verloren gehen.

Dies gab mir den entscheidenden Anreiz zu dieser Diplomarbeit. Da die Zukunft eindeutig in der Nutzung der Umweltenergie mittels Wärmepumpe liegt, ist es meiner Meinung nach sehr wichtig, diese in ihrer technischen Entwicklung zu fördern und auch bei ihren Schwachstellen zu verbessern, um in Zukunft vermehrt auf Gas und Öl verzichten zu können. Dies würde zu einer erheblichen Einsparung der fossilen Brennstoffe führen und damit die CO₂ Emissionen weitgehend verringern. Ebenso sieht dies Waldschmidt (2007, S.13)

1.2 Aufbau der Diplomarbeit

Grundsätzlich ist diese Diplomarbeit in acht Kapitel gegliedert. Nach der Einleitung mit kurzem Einblick in die Thematik und Problematik, gibt diese Arbeit eine detaillierte Einsicht in die aktuelle Energie- und Umweltsituation.

In den danach folgenden Kapiteln werden die Grundlagen der Wärmepumpentechnik näher erläutert. Ebenso werden sämtliche Bauarten und deren Wärmequellen behandelt.

Die Anlagenplanung und die Auseinandersetzung mit den gültigen Normen stellen einen weiteren Teil dieser Arbeit dar.

Das letzte Kapitel beschreibt einige Lösungsvarianten, die bereits in der Praxis umgesetzt wurden, und einige Lösungsansätze, die noch in den Startlöchern stehen.

1.3 Zielsetzung

Ein grundlegendes Motiv der vorliegenden Arbeit ist es die Wichtigkeit von erneuerbaren Energien darzulegen. Um im späteren Verlauf der Diplomarbeit die Zusammenhänge richtig zu verstehen, müssen zunächst die Grundlagen näher gebracht werden.

Ebenso ist der Fokus auf die enorme Bedeutsamkeit von Trinkwasser gesetzt. Es wird veranschaulicht welche gesundheitlichen Folgen durch einen hygienisch schlechten Wasserzustand entstehen können.

Das Hauptziel dieser Diplomarbeit ist es einige Lösungsvarianten und Möglichkeiten aufzuzeigen, um Trinkwasser auch mit Wärmepumpen normgerecht aufzubereiten.

2 Grundlagen der Wärmepumpe

2.1 Argumente für die Wärmepumpe

2.1.1 Umwelt und Energie

Bei der aktuellen Energiefrage tauchen zwei zentrale Fragen auf. Zum einen steigt durch die Knappheit der Energieressourcen der Preis. Dies hat den Nachteil, dass einige Länder wie beispielsweise Russland ihre Machtsituation ausnutzen, indem sie, wie 2006, die Gaszufuhr nach Deutschland unterbrochen haben. (vgl. Sobbota 2008, S.7)

Zum anderen zieht die globale Erderwärmung drastische Folgen nach sich. Bonin (2009, S.3) listet in diesem Zusammenhang folgende Beispiele auf:

- Gletscher schmelzen dahin
- Meeresspiegel steigt
- immer mehr Tier- und Pflanzenarten sind vom Aussterben bedroht
- Klima ändert sich
- mehr Naturkatastrophen, insbesondere vermehrt Stürme und Hurrikane

Geitmann (2010, S.37) meint hierzu, dass die Probleme mit fossilen Energieträgern weit über deren zeitliche Verfügbarkeit und den steigenden Energieverbrauch hinausgehen. Die Umweltbelastung mit all ihren negativen Einflüsse auf den Menschen, die Tiere, die Pflanzen, die Luft und den Boden stellt einen weiteren wichtigen Punkt dar.

2.1.2 Unabhängigkeit

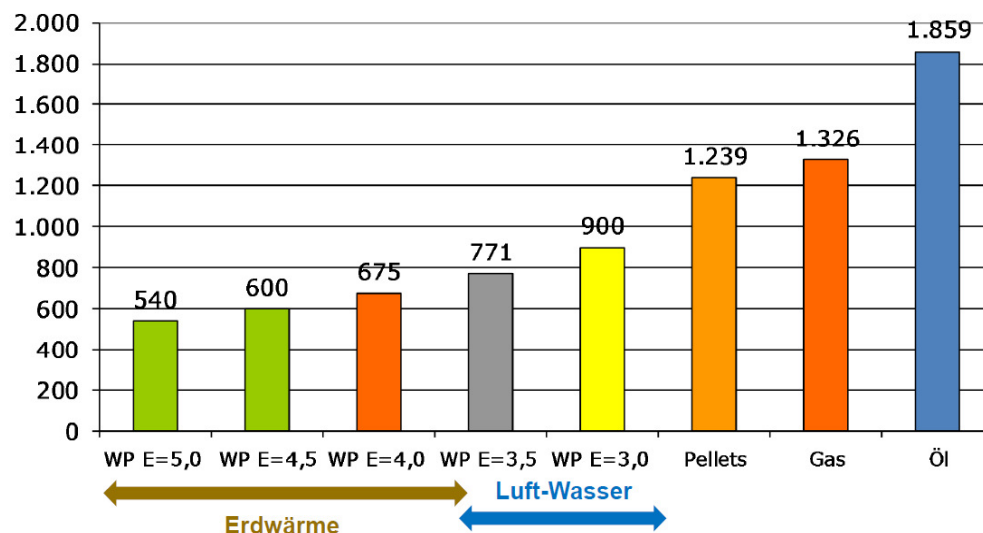
Ochsner (2000, S.5) sieht die „gefährliche Auslandsabhängigkeit als einen zusätzlichen Risikofaktor“ an. Er beschreibt, dass man primär „heimische Energie“ nutzen sollte anstatt von anderen Ländern abhängig zu sein. Nur mittels Wärme-

pumpe ließe sich die gespeicherte Sonnenenergie, bestehend aus Wasser, Luft und Erdwärme, bestmöglich nutzen.

2.1.3 Betriebskosten

Da bei einem Wärmepumpenheizsystem ungefähr $\frac{3}{4}$ der Heizenergie kostenlos aus der Umwelt kommen, hat dieses System natürlich die geringsten Betriebskosten von allen anderen Energiebereitern. (Ochsner 2000, S.4)

Zur deutlicheren Veranschaulichung ist das untenstehende Balkendiagramm (Abb.1) sehr gut geeignet.



Preise ohne Nebenkosten: Stromanteil bei Pellets, Öl, Gas sowie Kaminkehrer und Service wurde nicht eingerechnet. Wirkungsgrad Pellets 80%, Öl 92%, Gas 95%. Angenommen wurde ein Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser mit 18.000 kWh pro Jahr in einem 180 m² Einfamilienhaus mit 3 Personen. Energiepreise Stand August 2013, Strom für Wärmepumpe Euro 0,15.-/KWh (Österreichmix).

Abb. 1: Brennstoffkosten €/ Jahr Heizung und Warmwasser (KNV Energietechnik; Heizkostenvergleich 08/2013, S.2)

Hier ist deutlich zu sehen, dass sogar auch bei Luft/Wasser-Wärmepumpen die Betriebskosten weit unter denen der fossilen Brennstoffe liegen. Somit haben sich diese Systeme nach wenigen Jahren amortisiert.

2.1.4 Komfort

Wärmepumpen bieten den Nutzern ein hohes Maß an Komfort. Da sie nahezu immer mit Niedertemperatursystemen kombiniert werden, garantieren sie ein be-

hagliches und gesundes Raumklima. (Ochsner 2000, S.5) Staubablagerungen und die dadurch entstehenden Verwirbelungen sind somit ausgeschlossen. Dank immer besserer Technologien arbeiten sie sehr leise und vollautomatisch. Eine andere Art des Komforts ist natürlich auch der geringe Platzbedarf, da Lagerräume für Pellets oder Öl wegfallen.

Die Möglichkeit zur Kühlung mittels einer Wärmepumpe ist einer der größten Komfortpunkte und Vorteile gegenüber anderen Heizungssystemen. Hierbei kann zwischen Aktivkühlung und Passivkühlung unterschieden werden. Beim Erstgenannten wird durch Prozessumkehrung „aktiv“ mit dem Kompressor gekühlt. Dies verursacht zwar höhere Betriebskosten, doch der Kühleffekt ist dafür hervorragend. Beim Zweitgenannten wird beispielsweise Sole (Glykol-Wasser-Gemisch) mittels einer Umwälzpumpe durch das im Sommer kühlere Erdreich und dann über den Kühlwärmetauscher gepumpt. Das Heizungswasser durchströmt ebenfalls den gleichen Wärmetauscher und wird dabei abgekühlt. Bei diesem System sind zwar die höheren Betriebskosten minimal, da nur die Umwälzpumpe Strom braucht. Letzten Endes ist der Kühleffekt aber stark eingeschränkt. (Constanze, Danny, Helming 2013, S.90)

Die Bedienung übers Internet und Smartphone hat auch in der Wärmepumpenbranche in den letzten Jahren stark zugelegt und bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten.

2.1.5 Zukunft

Beim Wort „Zukunft“ fallen sofort zwei Schlagwörter, welche zunächst ähnlich klingen, jedoch unterschiedliche Bereiche betreffen.

Einerseits geht es um die Zukunftssicherheit. Damit ist gemeint, dass die Entscheidung über ein Heizsystem die nächsten 20 bis 30 Jahre Bestand hat. Doch es taucht sofort die Frage auf „Kann ich mir meine Heizung auch noch in 20 Jahren leisten?“ (Ochsner 2000, S.6). Aus meiner Sicht geht es hierbei um die Absicherung des Menschen für die kommende Zeit.

Berichte über Steigerungen der Energiepreise können wir fast täglich in den Zeitungen nachlesen. Die folgende Abbildung stellt die Entwicklung der Rohölpreise seit 1965 bis 2013 dar.

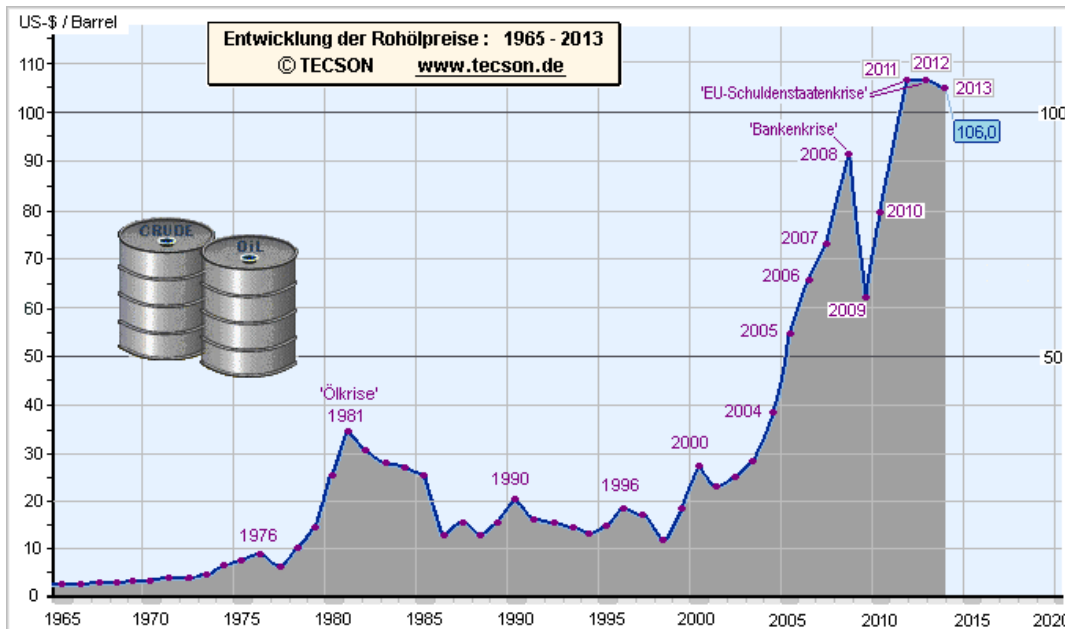


Abb. 2: Entwicklung der Rohölpreise 1965-2013
(http://www.tecson.de/tl_files/pepesale/bilder_inhalt/oelhist.gif)

In Abbildung 2 ist sehr gut zu erkennen, dass sich der Ölpreis immer nach einer sogenannten „Krise“ und vor allem seit dem Jahr 2000 drastisch erhöht hat.

Laut Ochsner (2000, S.6) ist die Wärmepumpe bereits heute die Heizquelle mit den niedrigsten Betriebskosten. Mit jeder generellen Energiepreissteigerung werden die Heizkosten mit der Wärmepumpe relativ noch billiger. Es vergrößern sich die Einsparungen gegenüber Öl- und Erdgas, weil bei der Wärmepumpe 3/4 der Energie kostenlos bleibt, selbst wenn der Strompreis steigt.

Die Energiequellen der Wärmepumpe sind zeitlich und mengenmäßig unbegrenzt. Ganz anders sieht es da bei Erdöl, Gas und Kohle aus. Bei den Prognosen zu den Reichweiten der Energiereserven gibt es sicherlich große Schwankungen und doch kann mit Garantie behauptet werden, dass sie sich bald dem Ende neigen. (Sobotta 2008, S.10)

Eine dieser Prognosen ist im nachfolgenden Diagramm dargestellt. (Abb.3)

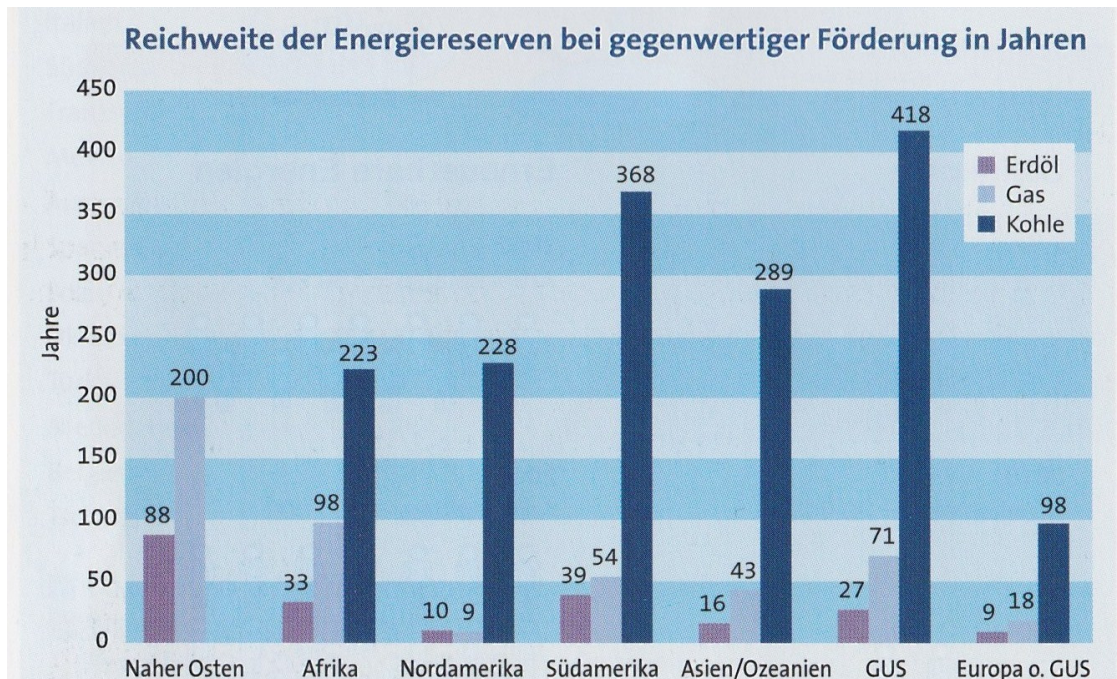


Abb. 3: Reichweite der Energiereserven bei gegenwärtiger Förderung in Jahren, Stand 2005 (Sobotta 2008, S.10)

Der andere Punkt im Zusammenhang mit Zukunft, ist die Zukunftssicherung. Dabei geht es um die „Verantwortung für morgen“, die wir alle tragen. Es muss unbedingt der ökologische Lebensraum für die weiteren Generationen erhalten werden. (Ochsner 2000, S.7)

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist natürlich die Sicherung der Arbeitsplätze für die nachkommende Zeit. Laut Bundesministerium für Umwelt und Wasserwirtschaft ist bereits heute jeder 20. Arbeitsplatz ein „green job“, und bis zum Jahr 2020 sollen zusätzlich 100.000 neue entstehen. (Bundesministerium Umwelt und Wasserwirtschaft, 2013)

Sobotta (2008, S.9) hat in seinem Buch eine dazu passende Darstellung abgedruckt. (Abb.4)

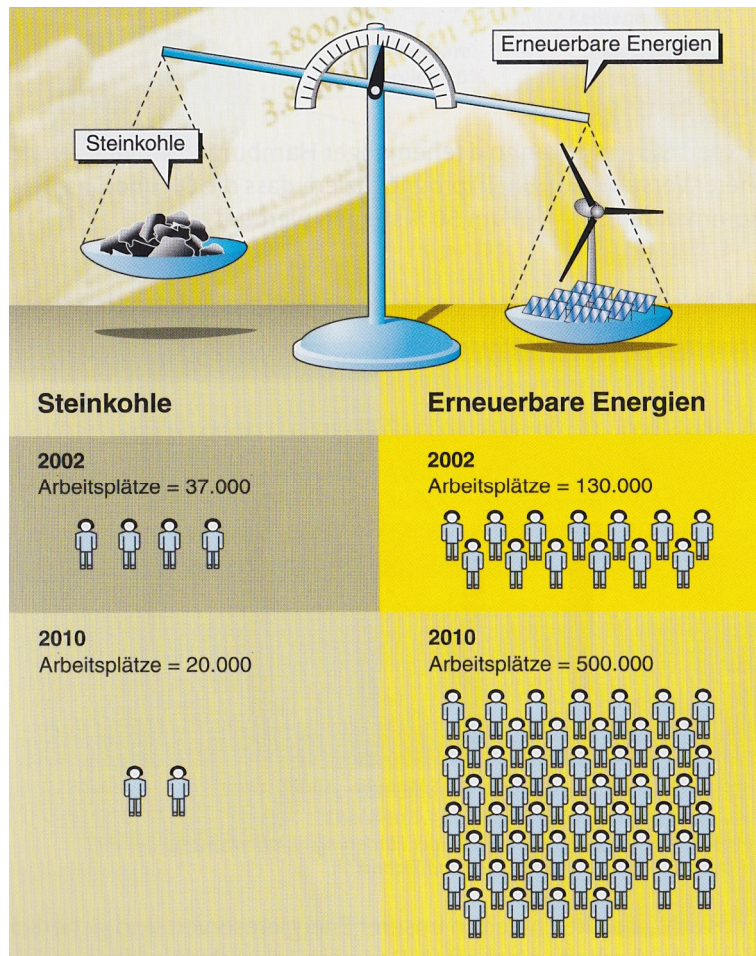


Abb. 4: Wachstum der Branche „erneuerbare Energien“ und damit der Gewinn von Arbeitsplätzen in Deutschland (Sobotta 2008)

In Abbildung 4 ist deutlich zu erkennen, dass in einem Zeitraum von nur acht Jahren die Arbeitsplätze in der Steinkohlebranche erheblich abgenommen haben. Dagegen hat sich die Anzahl der Arbeitsplätze in der selben Zeit im Bereich der erneuerbaren Energien fast vervierfacht. Damit kann die Aussage des Bundesministeriums für Umwelt und Wasserwirtschaft bekräftigt werden.

2.1.6 Förderungen

Da die Förderungen für Wärmepumpen in Bezug auf Höhe und Einbaukriterien nicht nur landesweit variieren, sondern auch in jedem Bundesland unterschiedlich sind, würde dies mit Sicherheit den Rahmen dieser Diplomarbeit sprengen. Daher wird hier nur auf die Förderungsbestimmungen im Bundesland Oberösterreich eingegangen und vorwiegend auf die Unterlagen des Energiesparverbandes Oberösterreich bezogen. Grundsätzlich wird unterschieden, ob es sich um eine

Neuanlage, Umstellung von fossiler Altanlage, oder einer Erneuerung der alten Wärmepumpenanlage handelt. Dabei gelten folgende Bestimmungen:

Neuanlage:

- € bei einer Mindest-Jahresarbeitszahl (nach VDI 4650) der Gesamtanlage von 4 bzw. 3,5 (Wärmequelle Luft) bzw. 1.700 € bei einer Jahresarbeitszahl von mind. 4,5

Umstellung einer fossilen Altanlage (Öl, Gas, Kohle, Allesbrenner) auf eine Wärmepumpenheizung:

- 1.500 € bei einer Mindest-Jahresarbeitszahl 4 bzw. 3,5 (Wärmequelle Luft)
- 2.200 € bei einer Jahresarbeitszahl von mind. 4,5

Erneuerung einer alten Wärmepumpen-Heizung (zumindest 15 Jahre):

- 500 € bei einer Mindest-Jahresarbeitszahl von 4 bzw. 3,5 (Wärmequelle Luft)

Ebenso sind folgende Bedingungen ebenfalls zu erfüllen: (Energiesparverband Oberösterreich, <http://www.esv.or.at/foerderungen/sonstiges/waermepumpe/>).

- Ein Wärmemengenzähler sowie ein separater Stromzähler für den Kompressor und die Hilfsantriebe sind in jedem Fall vorzusehen.
- Die Wärmepumpe ist entweder mit einer Photovoltaik-Anlage mit einer Leistung von zumindest 1 kWp oder mit einer thermischen Solaranlage mit mind. 4 m² Aperturfläche zur Warmwasserbereitung zu kombinieren oder ab Inbetriebnahme der Wärmepumpe mit Strom aus 100% erneuerbaren Energieträgern zu betreiben.
- Ist ein Anschluss an ein bestehendes, biogenes Fern- bzw. Nahwärmenetz im Umkreis von 35 m möglich, wird keine Förderung gewährt.

2.2 Aufbau und Funktion der Wärmepumpe

2.2.1 Prinzip

Das Prinzip der Wärmepumpe ist es, Wärme von einem tieferen Temperaturniveau auf ein höheres Temperaturniveau zu „pumpen“. Daher kommt auch die Namensgebung. (Bonin 2009, S.9)

Dieser Vorgang kann nur in einem geschlossenen Kreisprozess durch ständiges Ändern des Aggregatzustandes des Arbeitsmittels geschehen. Dabei wird der Umgebung, sprich Erdreich, Wasser und Luft, Energie entzogen. (Ochsner 2000, S.11)

2.2.2 Aufbau und Komponenten

Eine Wärmepumpe besteht aus den folgenden Hauptkomponenten (Bonin 2008, S10):

- Kompressor bzw. Verdichter
- Kondensator, auch Verflüssiger genannt
- Expansionsventil
- Verdampfer

Das Herzstück der Wärmepumpe ist selbstverständlich der Kompressor. Heutzutage kommen hauptsächlich Scroll- und Hubkolbenverdichter zum Einsatz, wobei aktuell die Tendenz eindeutig zu Erstgenanntem geht. Scroll-Kompressoren, wie in Abbildung 5 dargestellt, mit ihren beständigen Bewegungen der Spiralen, sind deutlich leiser als Hubkolben-Kompressoren und damit besser für Wärmepumpen geeignet. (Jochen Steffl 2014, <http://www.energie-loesungen.de>)



Abb. 5: Scroll-Kompressor (<http://www.energie-loesungen.de/energie-loesungen/magazine/article.php?artID=106&chID=1160&PHPSESSID=d20b2d8cc8a825194b6dab08c9f44253>)

Der Kondensator, auch Verflüssiger genannt, ist im Prinzip dazu da, die Wärme des heißen Kältemitteldampfes auf das Heizungswasser zu übertragen. Dabei kondensiert bzw. verflüssigt das Kältemittel. In der Regel werden hierfür Edelstahl-Plattenwärmetauscher eingesetzt. Ein Beispiel ist in Abbildung 6 zu sehen. (vgl. Bachmann 2012)



Abb. 6: Edelstahl-Plattenwärmetauscher (http://www.shop.wiltec.info/product_info.php/info/p3855)

Im Verdampfer entzieht das Kältemittel der Wärmequelle die zur Verdampfung benötigte Wärme. Dies erfolgt durch Wärmeübertragung. Daher sind die in der Wärmepumpe eingebauten Verdampfer, wie beim Kondensator beispielsweise, ebenfalls Edelstahl-Plattenwärmetauscher. Da der Verdampfer auch außerhalb der Wärmepumpe liegen kann, gibt es je nach Wärmequelle und Bauart einige verschiedene Bauformen. Dies wird in Kapitel 3 und Kapitel 4 genauer erläutert. (Huber et al. 2014, S.15)

Durch das Expansionsventil zwischen Kondensator und Verdampfer schließt sich der Kältemittelkreislauf. Es sorgt dafür, dass der am Verdampfer ursprünglich herrschende Druck wieder hergestellt wird und regelt den Kältemittelvolumenstrom ein. Standardmäßig werden thermostatische, immer öfter jedoch auch schon elektronische Expansionsventile eingesetzt. (vgl. Bachmann 2011).

Die Abbildung 7 zeigt ein thermostatisches Expansionsventil der Firma Danfoss.



Abb. 7: Thermostatisches Expansionsventil Danfoss
(<http://www.danfoss.com/Germany/BusinessAreas/RefrigerationAndAirConditioning/Articles/Expansionsventile.htm5>)

Die Wärmepumpe besteht logischerweise nicht nur aus diesen vier Hauptkomponenten, sondern noch aus vielen weiteren wichtigen Bauteilen. Für einen störungsfreien und sicheren Betrieb, sind neben den Hauptkomponenten auch noch ein Hoch- und Niederdruck-Pressostat, mehrere Temperatur- und Drucksensoren, Filtertrockner, Kältemittelsammler, Vier-Wege-Ventil, Sicherheitsventil, Umwälzpumpen und natürlich eine Regelung notwendig. (Sobotta 2008, S.30-34)

In der folgenden Abbildung (Abb.8) ist das Innenleben einer Luft/Wasser-Wärmepumpe dargestellt.

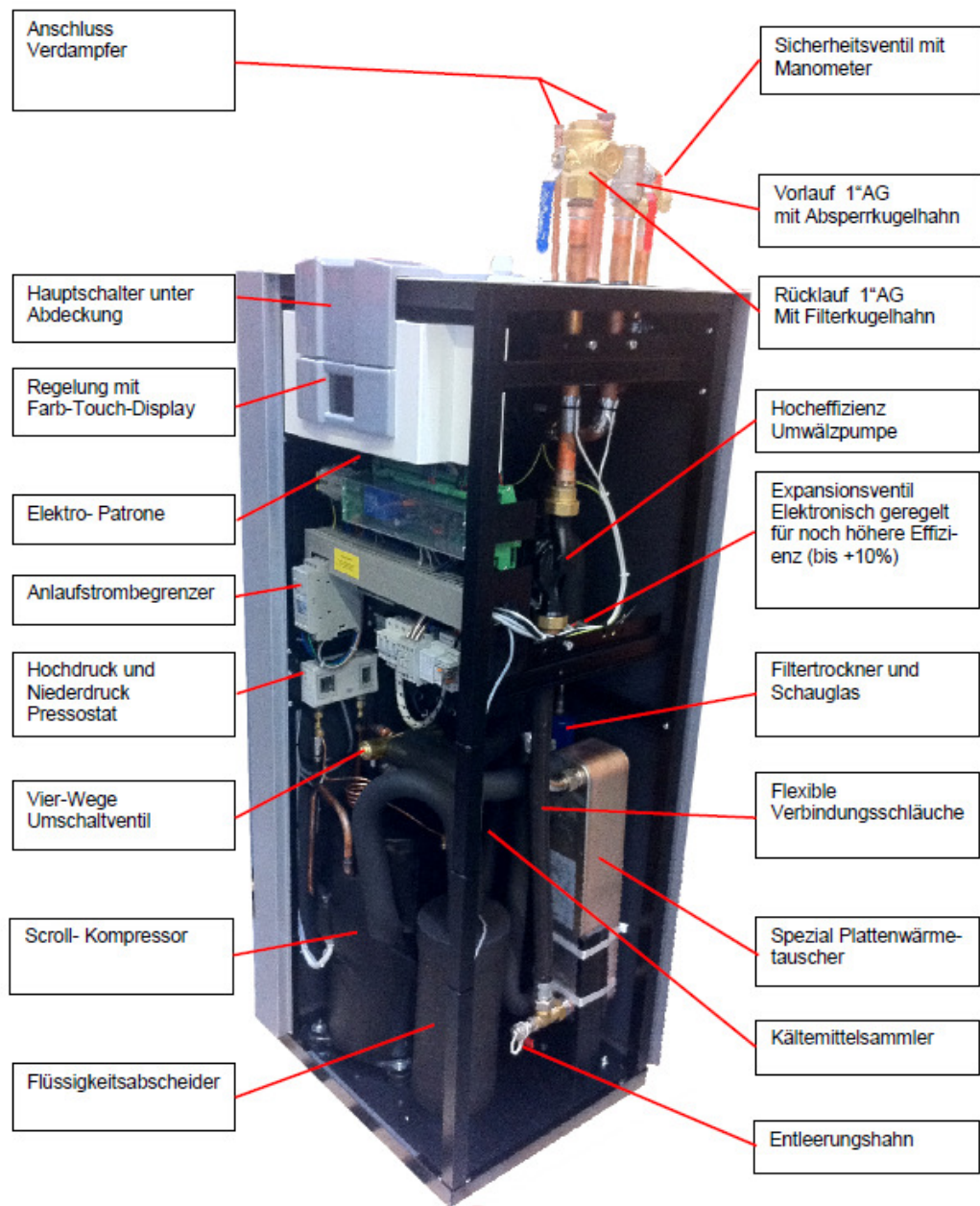


Abb. 8: KNV Luft/Wasser-Split Wärmepumpe Innenleben (KNV Energietechnik, 2013)

2.2.3 Kältekreislauf

Sobotta (2008, S.18) beschreibt den Kältekreislauf folgendermaßen:

„Im Kältekreislauf zirkuliert ein FCKW-freies Arbeitsmittel mit extrem niedrigem Siedepunkt. Im Verdampfer wird dem Arbeitsmittel Umweltwärme zugeführt. Es wechselt vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand. Im Verdichter- dem Motor des Kältekreises- wird das gasförmige Arbeitsmittel angesaugt und stark verdichtet und damit auch ein hohes Temperaturniveau gebracht. Dieser Vorgang benötigt die 25% Hilfsenergie zur Nutzung der Umweltwärme. Im Verflüssiger wird

die Wärmeenergie durch die natürliche Wärmesenke direkt an den Heizkreislauf weitergegeben. Dadurch erfolgen die Abkühlung und Verflüssigung des Arbeitsmittels. Im Expansionsventil wird das Arbeitsmittel dekomprimiert und dadurch so stark abgekühlt, dass es wieder Umweltwärme aufnehmen kann.“

Die nachkommende Abbildung (Abb.9) veranschaulicht den Kältekreislauf mit sämtlichen Temperaturen und Drücken:

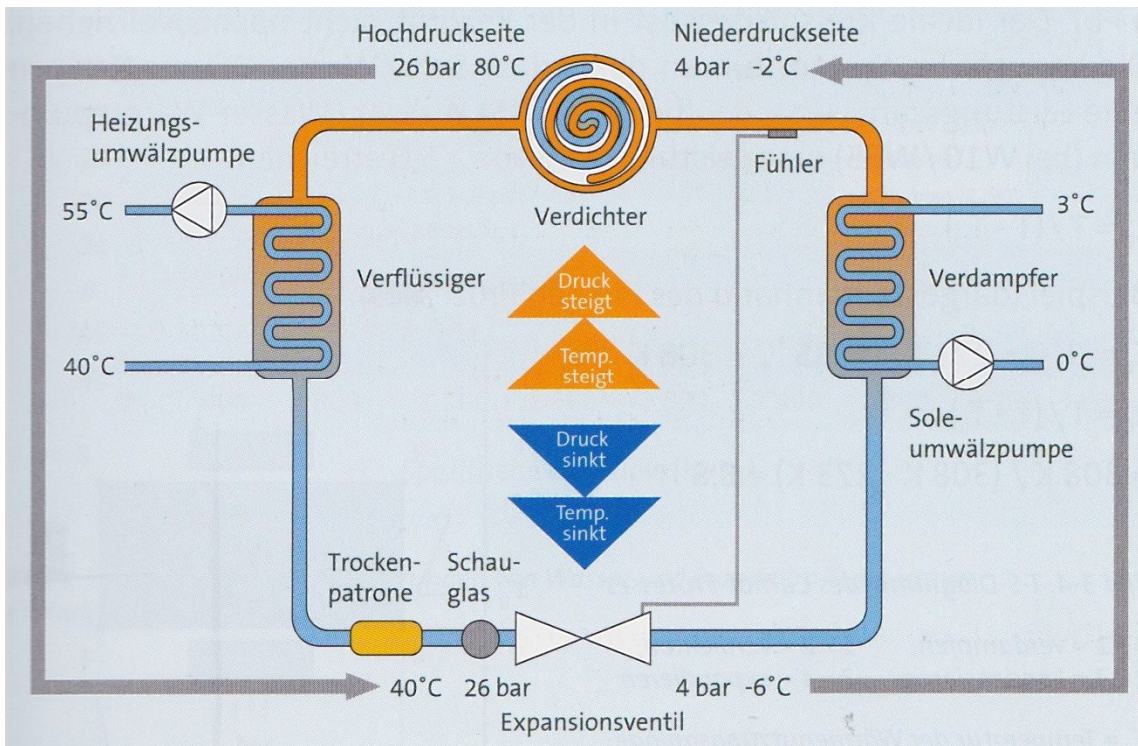


Abb. 9: Kältekreislauf einer Sole/Wasser Wärmepumpe (Sobotta, 2009, S.18)

2.2.4 Kreisprozess nach Carnot

Der sich in den Wärmepumpen abspielende Kreisprozess folgt im Wesentlichen dem „idealen“ Carnot-Prozess. Die theoretische Leistungszahl ε wird über die Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle (Verdampfer) und der Wärmenutzungsanlage (Kondensator) berechnet. (Sobotta 2009, S.20)

Zur besseren Darstellung wird der Prozess im T-s-Diagramm (Abb.10) folgendermaßen dargestellt:

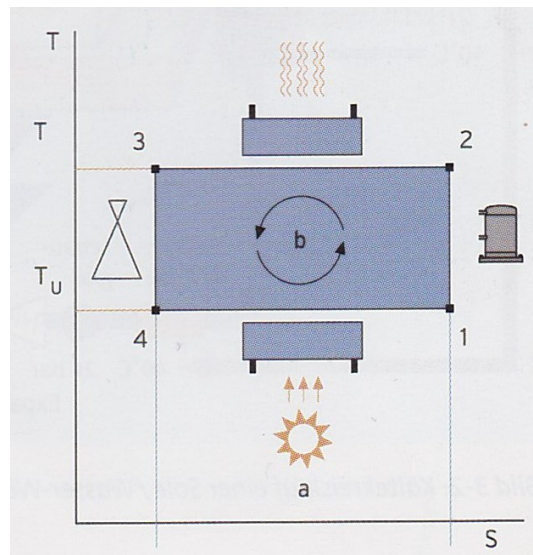


Abb. 10: Carnot-Prozess im T-s Diagramm (Sobotta, 2009, S.20)

Das T-s Diagramm ist eine der wichtigsten Darstellungen für Zustandsgrößen und Kreisprozesse, wobei T für Temperatur (Kelvin) und s für Entropie (Joule/Kelvin) steht. (Recknagel et al. 2005, S.122)

Die Fläche a stellt die Energie, welche von der Umwelt aufgenommen wurde, dar. Fläche b ist die Antriebsenergie des Kompressors. Werden beide Flächen addiert so ergibt das die gesamte abgegebene Energie. (Sobotta 2009, S.20)

Die Carnot'sche Leistungszahl ist die maximal mögliche Leistungszahl und wird berechnet über $\epsilon_{WP, C} = T_c / T_c - T_o$ (<http://www.jahresarbeitszahlen.info>)

Dabei sind:

T_c = Verflüssigungstemperatur in K; Beispiel: $t_c = 40\text{ °C}$; $T_c = 273 + 40 = 313\text{ K}$

T_o = Verdampfungstemperatur in K; Beispiel: $t_o = -5\text{ °C}$; $T_o = 273 - 5 = 269\text{ K}$

Somit ist die Carnot'sche Leistungszahl bei diesen Bedingungen:

$$\epsilon_{WP, C} = 313\text{ K} / 313\text{ K} - 269\text{ K} = 7$$

Natürlich läuft der reale Prozess nicht ohne Verluste ab, daher sind diese Zahlen in der Natur nicht zu erreichen. Um die tatsächliche Leistungszahl überschlägig auszurechnen, kann folgende Faustformel verwendet werden:

ϵ_{WP} , tatsächlich = $0,5 \times \epsilon_{WP}$, C

Bei dem obigen Beispiel wären das: $0,5 \times 7 = 3,5$

Das vorherige Beispiel zeigt, dass der Temperaturhub entscheidend für die Leistungszahl ist. Der Temperaturhub ist die Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle (oder dem Verdampfer) und der Vorlauftemperatur des Heizwassers (Verflüssiger), auf deren Niveau die Wärmepumpe die Temperatur anheben muss. Je größer der Temperaturhub ausfällt, desto mehr Energie, in Form von Strom, benötigt die Wärmepumpe. (<http://www.jahresarbeitszahlen.info>)

Die folgende Abbildung (Abb.11) zeigt wie sich die Leistungszahl in Abhängigkeit zum Temperaturhub verhält.

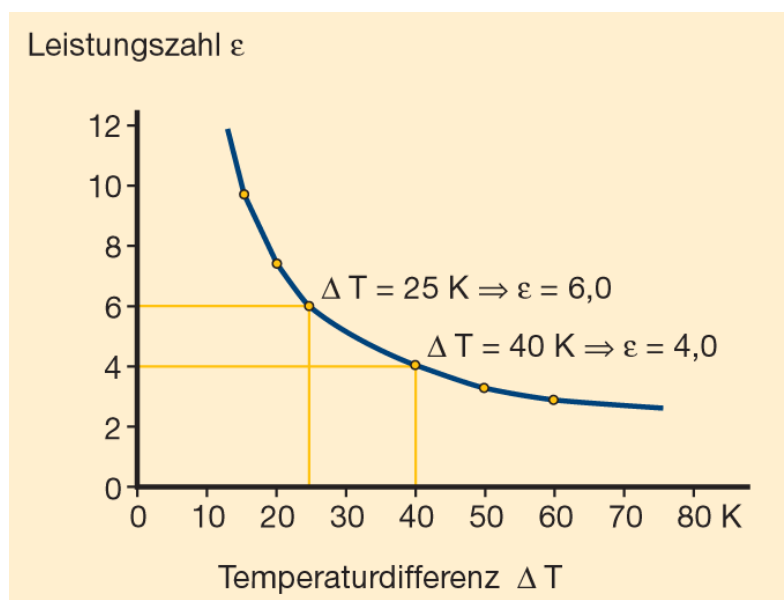


Abb. 11: Abhängigkeit Leistungszahl zu Temperaturdifferenz
(<http://www.bine.info/publikationen/publikation/waermepumpen-die-heiztechnik-alternative/>)

2.2.5 Arbeitsmittel

Das ganze System der Wärmeübertragung in Wärmepumpen basiert auf den Eigenschaften des Arbeitsmittels, dessen Aufgabe darin besteht als „Wärmetransportmittel“ zu fungieren. Es muss Wärme aufnehmen, sie vom Verdampfer zum Kondensator transportieren und dort wieder abgeben. (Waldschmidt 2007, S.68)

Wie bereits in Kapitel 2.2.3 erwähnt, muss das Arbeitsmittel FCKW-frei sein und einen niedrigen Siedepunkt haben. Neben diesen Eigenschaften müssen laut Waldschmidt (2007, S.68) noch folgende Bedingungen erfüllt sein:

- hohe Verdampfungswärme (mit wenig Arbeitsmittel, viel Wärme transportieren)
- ungiftig und nicht brennbar
- nicht korrosiv wirkend
- verträglich mit Schmierölen der Verdichter
- gut entsorgbar

Als Arbeitsmittel bei Wärmepumpen kommen hauptsächlich die drei Kältemittel R407c, R410a und R134a zum Einsatz. Dabei handelt es sich um Kältemittelgemische, welche auch Blends genannt werden. In der anschließenden Abbildung (Abb.12) sind die gebräuchlichsten Kältemittel und ihr jeweiliger Siedepunkt angeführt.

Kältemittel	Siedepunkt	Verflüssigungstemperatur bei 26 bar
R12 FCKW ¹⁾	-30 °C	86 °C
R134a FKW	-26 °C	80 °C
R404A FKW	-47 °C	55 °C
R407C FKW	-45 °C	58 °C
R410A FKW	-51 °C	43 °C
R744 (Kohlendioxid)	-57 °C	-11 °C
R717 (Ammoniak)	-33 °C	60 °C
R290 (Propan)	-42 °C	70 °C

1) R12 FCKW schädigt die Ozonschicht und darf deshalb seit 1995 in Neuanlagen nicht mehr verwendet werden

Abb. 12: Physikalische Eigenschaften gängiger Kältemittel (<http://www.volker-quaschning.de/artikel/waermepumpe/index.php>)

2.2.6 h-log-p Diagramm

Im h-log-p Diagramm (Enthalpie-Druck-Diagramm) werden die Zustandsgrößen von Kältemitteln in ihren gas- bzw. dampfförmigen und flüssigen Aggregatzuständen dargestellt. Dabei gibt uns die spezifische Enthalpie h (kJ/kg) den „Energieinhalt“ des jeweiligen Stoffes an. Der Druck (in bar) wird, aufgrund

der größeren Druck- und Temperaturdifferenzen bei Wärmepumpenprozessen in einem logarithmischen Maßstab angegeben. (Waldschmidt 2007, S.50)

Am besten lässt sich dies mit folgender Abbildung (Abb.13) erklären:

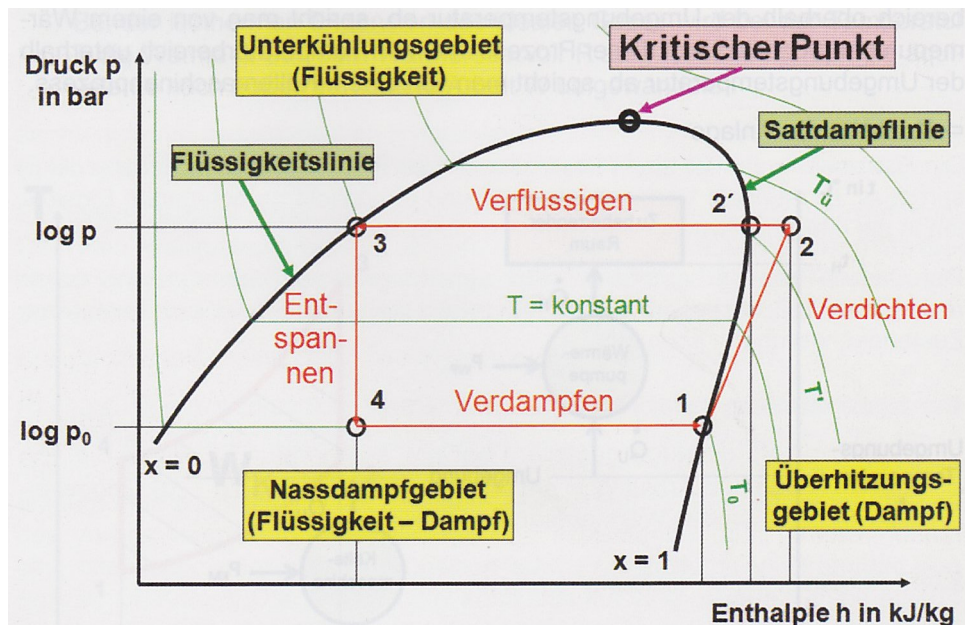


Abb. 13: Theoretischer Wärmepumpenprozess im h-log-p Diagramm (Waldschmidt, 2007, S.56)

Links ist das Gebiet des flüssigen Aggregatzustandes und rechts das des gas- bzw. dampfförmigen Zustandes. Die Fläche unter der Kurve wird als Nass-Dampf-Gebiet bezeichnet, da der Stoff hier flüssig und dampfförmig ist. An der höchsten Stelle der Kurve befindet sich der „kritische Punkt“. Dort fallen die beiden Aggregatzustände zusammen, das heißt die physikalischen Eigenschaften sind identisch. Bis zu diesem Punkt wird die Kurve als „Flüssigkeitslinie“, und ab da als „Satttdampflinie“ bezeichnet. (Waldschmidt 2007, S.50)

Wird im h-log-p Diagramm der Wärmepumpen-Kreisprozess auch eingezeichnet, so stellt dieses ein sehr wichtiges Werkzeug für die Auslegung von Komponenten der Wärmepumpe dar.

2.2.7 Leistungszahl

Die Leistungszahl „ ϵ “, oft auch als „COP“ bezeichnet, was übersetzt „Coefficient of Performance“ bedeutet, stellt das Verhältnis von abgegebener thermischer Heiz-

leistung zu zugeführter elektrischer Hilfsenergie dar. Der COP-Wert ist daher einheitslos und immer größer 1. Er wird auf dem Prüfstand ermittelt und ist daher nur als Momentanwert zu sehen. (Hartmann und Schwarzburger 2009, S.69)

Die Leistungszahl kann nach zwei verschiedenen Normen angegeben werden. Die erste ist die EN255 und die zweite die EN14511. Der Unterschied ist der, dass bei der EN255 nur die Antriebsenergie des Verdichters miteinberechnet wird, wobei die EN14511 auch die elektrische Leistung der Heizungspumpe, der Regelung und sonstigen Anlagenteile miteinbezieht. Somit ist die Prüfstandsmessung nach EN14511 die genauere Variante und daher muss die Leistungszahl auf den Datenblättern von sämtlichen Herstellern nach ihr angegeben werden. (VDI4650/1, 2009, S.5)

Wärmepumpen-Produzenten müssen in den Datenblättern folgende Werte angeben: (Bonin 2008, S.38/39)

- Bei Direktverdampfer-Wärmepumpen wird der COP-Wert bei E-1/W35 angegeben. Dies bedeutet, dass bei der Prüfstandsmessung das Wärmeträgermedium (E=Erdreich) eine Temperatur von -1°C und das Heizungsmedium (Wasser) eine Temperatur von 35°C hat
- Bei Sole-Wärmepumpen wird der COP-Wert bei S0/W35 angegeben. Dies bedeutet, dass bei der Prüfstandsmessung das Wärmeträgermedium (S=Sole) eine Temperatur von 0°C und das Heizungsmedium (Wasser) eine Temperatur von 35°C hat
- Bei Grundwasser-Wärmepumpen wird der COP-Wert bei W10/W35 angegeben. Dies bedeutet dass bei der Prüfstandsmessung das Wärmeträgermedium (Grundwasser) eine Temperatur von 10°C und das Heizungsmedium (Wasser) eine Temperatur von 35°C hat
- Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen werden drei verschiedene COP-Werte angegeben, da die Lufttemperatur großen Einfluss auf die Leistungsdaten hat. Hier werden die Werte bei A-7/W35, bei A2/W35 und bei A10/W35 benötigt. Dies bedeutet, dass bei der Prüfstandsmessung das Wärmeträgermedium

(A=Außenluft) eine Temperatur von -7°C , 2°C , 10°C und das Heizungsmedium (Wasser) eine Temperatur von 35°C hat

2.2.8 Jahresarbeitszahl

Die Jahresarbeitszahl, kurz „JAZ“ genannt, gibt im Gegensatz zur Leistungszahl, einen detaillierten Einblick in die Effizienz einer Wärmepumpenanlage. Sie ist für Energiebilanzen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen maßgebend. (Hartmann und Schwarzbürger 2009, S.72)

Laut Ochsner (2000, S.14) stellt die JAZ ein Verhältnis zwischen der gelieferten Nutzenergie einer gesamten Heizperiode und der zugeführten elektrischen Antriebsenergie dar.

Die theoretische Berechnung der JAZ erfolgt nach VDI4650. Dieses Berechnungsverfahren wird im Forschungsmodul näher behandelt. Doch da gewisse Punkte in dieser Berechnung nicht berücksichtigt werden können, beispielsweise das Benutzerverhalten, ist die Berechnung sehr ungenau und dient eigentlich nur zum Nachweis bei Behörden. Daher ist eine eindeutige Feststellung der JAZ nur mithilfe eines Wärmemengen- und eines Stromzählers möglich.

2.3 Betriebsarten der Wärmepumpe

Wärmepumpen-Heizungsanlagen sind sehr flexible Systeme. Durch eine Mehrzahl an möglichen Wärmequellen, Wärmepumpenbauarten und Einbindungskonzepten gibt es viele verschiedene Kombinationsmöglichkeiten aller Anlagenteile. Daraus ergeben sich folgende Betriebsweisen. (Waldschmidt 2007, S.164f)

2.3.1 Monovalente Betriebsweise

Die Wärmepumpe übernimmt die alleinige Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasserbereitung. Die Wärmequelle muss ganzjährig und jederzeit verfügbar sein. Das beste Beispiel sind hierbei Erdwärme- und Grundwasserwärmepumpen. (Abb.14)

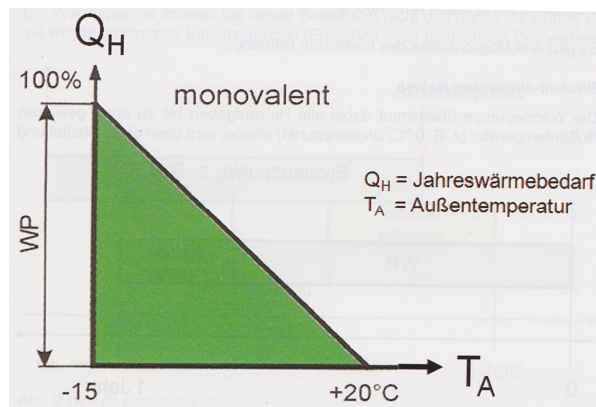


Abb. 14: Monovalente Betriebsweise (Waldschmidt 2007, S.165)

2.3.2 Bivalente Betriebsweise

Bei bivalentem Betrieb ist es der Wärmepumpe nicht möglich, den Wärmebedarf des Gebäudes über das ganze Jahr alleine zu decken. Daher muss in der kalten Jahreszeit ein zweiter Wärmeerzeuger hinzugeschaltet werden. Dies ist meistens bei Luft-Wasser- Wärmepumpen der Fall. Hierbei kann noch zwischen bivalent-alternativem und bivalent-parallelem Betrieb unterschieden werden.

2.3.3 Bivalent- alternativ

Bei bivalent-alternativer Betriebsweise ist die Wärmepumpe oder der zusätzliche Wärmeerzeuger ab einer bestimmt definierten Außentemperatur (T_U) abwechselnd im Betrieb, wobei die Wärmepumpe oberhalb und die Zusatzheizung unterhalb des Umschaltpunktes arbeitet. Entweder heizt die Wärmepumpe oder der zweite Wärmeerzeuger. Diese Betriebsart wird gewählt, wenn ebenfalls hohe Vorlauftemperaturen notwendig sind. Bei Haussanierungen könnte das z.B. durch eine Luftwärmepumpe und einen Öl-Kessel geschehen, der auch vor der Sanierung zum Heizen verwendet wurde.

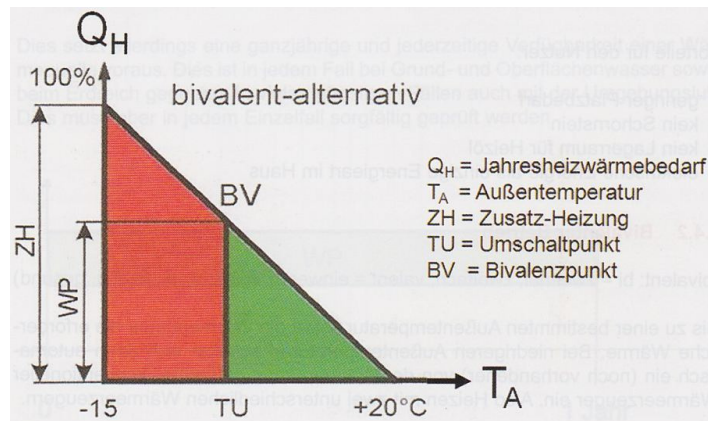


Abb. 15: Bivalent-alternative Betriebsweise (Waldschmidt 2007, S.166)

2.3.3.1 Bivalent- parallel

Bei bivalent-paralleler Betriebsweise sind die Wärmepumpe und der zusätzliche Wärmeerzeuger ab einer bestimmten definierten Außentemperatur, gleichzeitig in Betrieb. Diese Betriebsart wird gewählt, wenn die benötigte Vorlauftemperatur bzw. die benötigte Heizenergie für die Wärmepumpe alleine zu hoch wäre. Im nachfolgenden Bild (Abb. 11) ist der Bivalenzpunkt (BV) ersichtlich, ab dem der zweite Wärmeerzeuger bei einer gewünschten Temperatur (TE) zugeschaltet wird.

Die grüne Fläche stellt die aufgebrauchte Wärmeenergie der Wärmepumpe und die rote Fläche die Wärme der Zusatzheizung dar.

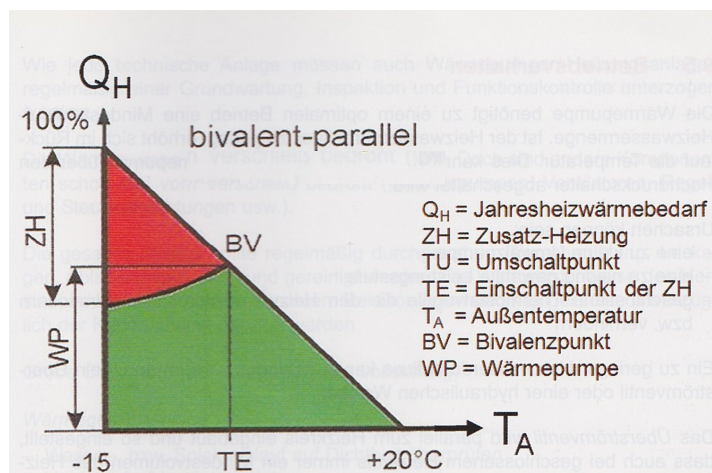


Abb. 16: Bivalent-parallele Betriebsweise (Waldschmidt 2007, S.166)

3 Bauarten der Wärmepumpe

In dieser Diplomarbeit wird ausschließlich auf die Direktverdampfer-, die Sole/Wasser-, die Wasser/Wasser sowie die Luft/Wasser-Wärmepumpen eingegangen. Als Bauart werden hierbei nur die Kompressions-Wärmepumpen mit elektrischem Antrieb näher beschrieben.

3.1 Systematik und Benennungen

Ochsner (2000, S.17) teilt die Wärmepumpen nach folgenden Kriterien ein.

- Einsatz: Heizung oder Warmwasserbereitung
- Medium Wärmequelle/Wärmenutzungsanlage: Sole/Wasser, Wasser/Wasser, Direktverdampfung/Wasser, Luft/Wasser, Luft/Luft
- Bauart: Kompakt, Split, Aufstellungsort (innen, außen)

In sämtlichen Datenblättern der Hersteller werden die Bezeichnungen abgekürzt. Hierbei wendet man die international verständlichen Begriffe aus dem Englischen an. So sieht das auch die DIN EN14511 vor. (Waldschmidt 2007, S108).

- W steht für Water (Wasser)
- B für Brine (Sole)
- E für Earth (Erde)
- A steht für Air (Luft)

Neben der Wärmequelle werden auch die jeweiligen Nenn-Temperaturen hinzugefügt.

Ein Beispiel für die Bezeichnung von Wärmepumpen ist in Abbildung 17 dargestellt.

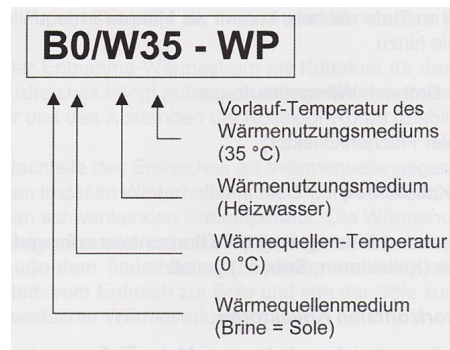


Abb. 17: Beispiel Benennung einer Sole-Wasser WP (Waldschmidt 2007, S.108)

Auf der linken Seite vom Schrägstrich wird das Wärmequellenmedium, welches durch den Verdampfer läuft, genannt. (Luft, Wasser, Sole, Erde). Auf der rechten Seite vom Schrägstrich, führt man das Wärmenutzungsmedium, welches durch den Kondensator strömt, an.

3.2 Sole/Wasser- Wärmepumpen

3.2.1 Aufbau

Sole/Wasser-Wärmepumpen nutzen das Erdreich als Wärmequelle. Ein Glykol-Wasser-Gemisch (Sole) wird mittels einer Umwälzpumpe durch das Erdreich und über den Verdampfer gepumpt. Durch den Glykolinhalt ist ein Einfrieren im Verdampfer nicht möglich. Folgende Abbildung (Abb.18) zeigt die schematische Darstellung einer Sole/Wasser-Wärmepumpe. (Bonin 2009)

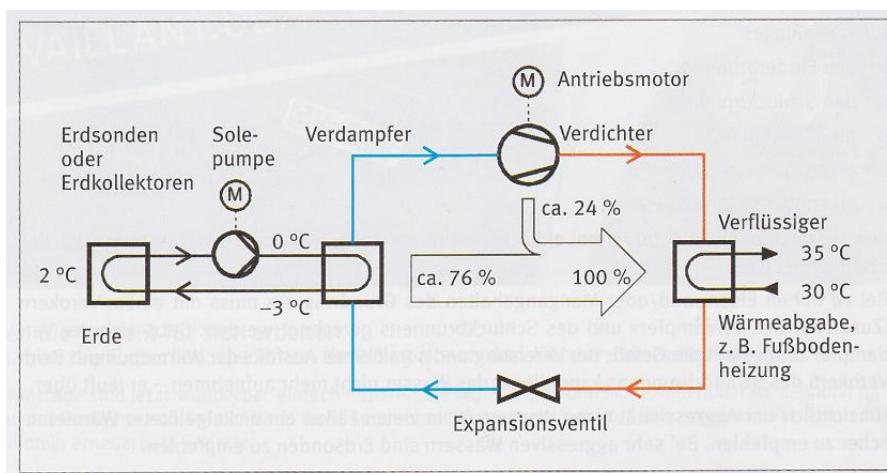


Abb. 18: Schema Sole/Wasser Wärmepumpe (Bonin 2009, S.22)

3.2.2 Bauarten

Sole/Wasser- Wärmepumpen werden als Kompaktgeräte für die Innenaufstellung gebaut. Dies bedeutet, dass die Wärmepumpe samt allen Komponenten im Technikraum aufgestellt ist, und nur die Wärmequellenleitungen, sprich Sole-Leitungen, nach außen zum Erdkollektor führen. Es gibt Varianten mit internem und externem Warmwasserspeicher. Die Sole-Umwälzpumpe ist normalerweise im Gerät verbaut, doch bei größeren Anlagen kann diese auch außen montiert sein. (vgl. Schlagnitweit und Wagner 2003)

Der Sole-Kreislauf kann in folgenden zwei Arten ausgeführt werden.

3.2.3 Flachkollektor

Das Erdkollektorrohr besteht meist aus Polyethylen und wird üblicherweise in der Dimension 32x3 mm ausgeführt. Es gibt jedoch auch Varianten mit kunststoffummantelten Kupferrohren. Die erforderliche Verlegefläche, der Verlegeabstand und die Verlegetiefe hängen von der Größe der Anlage, der Art des Erdreichs, und in weiterer Folge von dessen Entzugsleistung ab.

Meist ist es hierbei von enormer Bedeutung und sehr empfehlenswert die jeweiligen Herstellerangaben genauestens zu befolgen. Eine Verlegetiefe von 1,2 Meter und ein Verlegeabstand von 60-80 cm sind empfohlene Werte. Die Erdkollektor-Kreise gibt es in 100 Meter und in 200 Meter Ausführung. (Bonin 2009)

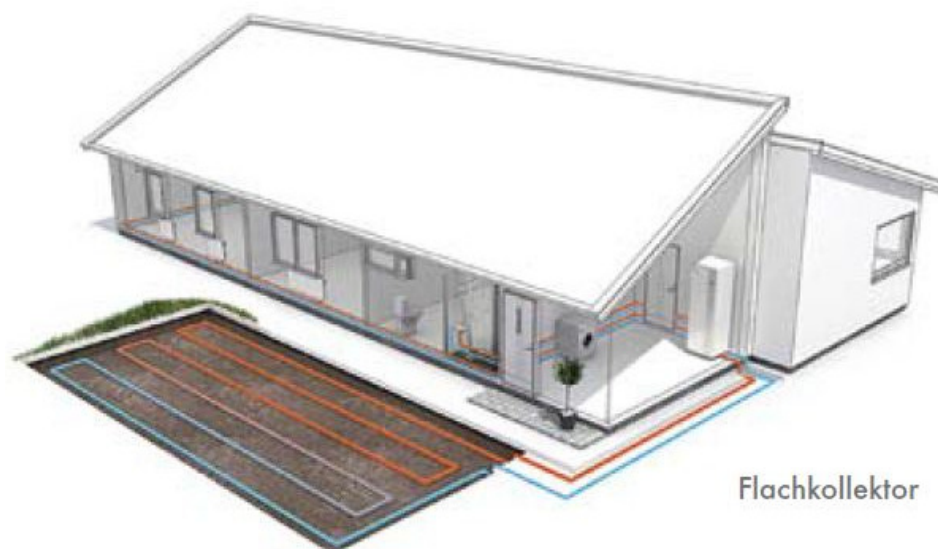


Abb. 19: Darstellung Flachkollektor (KNV Energietechnik, Gesamtprospekt 2014, S.10)

3.2.3.1 Tiefensonde

Erdsonden werden vertikal in die Erde eingebaut. Beim Betrieb wird so dem umgebenen Boden die Wärme entzogen. Die Bohrtiefe hängt von der Größe der Anlage, der Art des Erdreichs, und in weiterer Folge von dessen Entzugsleistung ab. In jedem Fall ist eine „wasserrechtliche Bewilligung“ durch einen Geologen notwendig. (vgl. Schlagnitweit und Wagner 2003)



Abb. 20: Darstellung Flachkollektor (KNV Energietechnik, Gesamtprospekt 2014, S.11)

Die Bohrung soll laut Sobotta (2008, S.68) immer von einem Bohrfachbetrieb ausgeführt werden, welcher nach DVGW-Arbeitsblatt W 120 qualifiziert ist.

Es gibt einige verschiedene Erdsonden-Typen. Es wird zwischen Einfach-U-Sonden, Doppel-U-Sonden, Rohr-in-Rohr-Sonden und Direktverdampfungssonden unterschieden. Das Sondenrohr besteht fast immer aus Polyethylen. Heutzutage kommt meist eine Doppel-U-Sonde, auch Duplexsonde genannt, zum Einsatz. Diese Sonde, welche prinzipiell aus vier PE-Rohren besteht, hat den Vorteil, dass aufgrund ihrer doppelten Oberfläche, mehr Wärme aufgenommen werden kann. (Bonin 2009, S.71)

Die folgende Abbildung (Abb.21) stellt solch eine Duplex-Sonde im Schnitt dar.

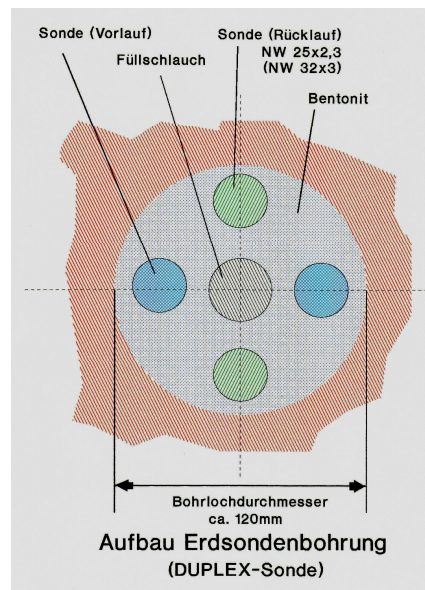


Abb. 21: Duplexsonde Prinzip (<http://www.staerk-erdwaerme.ch/typo3/index.php?id=77&tx>)

Hier anbei (Abb.22) ist die Einbringung einer Erdsonde durch das Fachunternehmen zu sehen. Einzelbohrungen sind, je nach Bodenbeschaffenheit, bis zu einer Tiefe von 150 lfm möglich.



Abb. 22: Einbau von Erdsonden (Bonin 2009, S.71)

3.2.4 Vor- und Nachteile

Abhängig vom Aufbau und von der Bauart ergeben sich folgende Vor- bzw. Nachteile bei Sole/Wasser-Wärmepumpen. (Bonin 2009, S.23)

Vorteile:

- sehr guter Wirkungsgrad (JAZ ca. 4)
- hohe Betriebssicherheit (keine Vereisung der Verdampfers möglich)
- lange Lebensdauer
- Beheizung und Kühlung möglich

Nachteile:

- geringerer Wirkungsgrad (als Wasser/Wasser und Direktverdampfer)
- teuer in der Anschaffung (besonders Tiefenbohrung)
- viel Grundstücksfläche nötig (bei Erdkollektor)
- keine aktiv-Kühlung möglich (wie bei Luft/Wasser-Wärmepumpen)
- wasserrechtliche Bewilligung notwendig (bei Tiefenbohrung)

3.3 Direktverdampfer- Wärmepumpen

3.3.1 Aufbau

Bei Direktverdampfer-Wärmepumpen befindet sich der Verdampfer nicht in der Wärmepumpe, sondern in der Erde. Das Verdampfen des Kältemittels erfolgt hierbei also nicht über eine „Zwischenstation“ wie bei Sole/Wasser-Wärmepumpen, sondern „direkt“ im Erdreich, daher auch die Namensgebung. Dies bedeutet, dass das Kältemittel sofort hinter dem Expansionsventil der Wärmequelle Erde zugeführt wird. (Bonin 2009, S.25)

Durch den entfallenden Wärmetauscher in der Wärmepumpe, und den damit entfallenden Übertragungsverlusten, sowie der nicht benötigten Sole-Umwälzpumpe,

ist die Effizienz bei diesem System enorm hoch. Nur Wasser/Wasser-Wärmepumpen erzielen höhere Leistungszahlen.

Am folgenden Schema (Abb.23) lässt sich dieser Aufbau sehr gut darstellen.

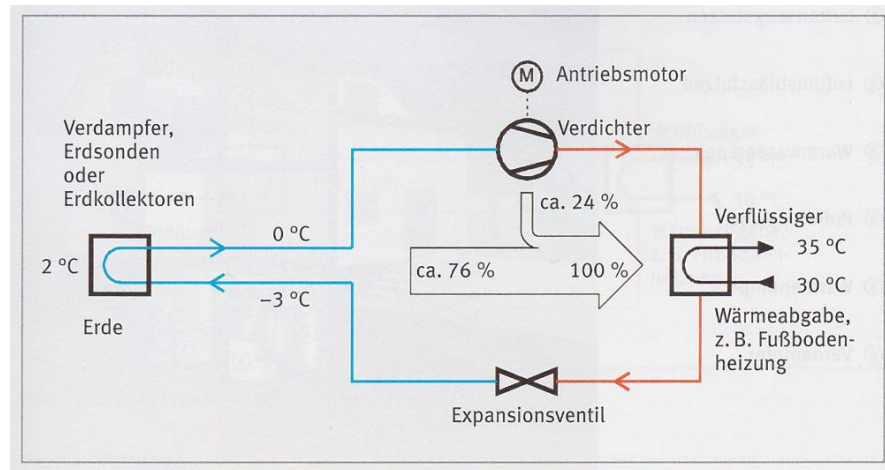


Abb. 23: Schema Direktverdampfer- Wärmepumpe (Bonin 2009, S.25)

In Abb.23 ist sehr gut zu erkennen, dass bei Direktverdampfer-Wärmepumpen der Verdichter (Kompressor) den „Transport“ des Wärmequellenmediums, in diesem Fall Kältemittel, übernimmt.

3.3.2 Bauarten

Direktverdampfer- Wärmepumpen werden vorwiegend als Kompaktgeräte für die Innenaufstellung gebaut. Dies bedeutet, dass die Wärmepumpe samt allen Komponenten im Technikraum aufgestellt ist, und nur die Wärmequellenleitungen, sprich Kälteleitungen, nach außen zum Erdkollektor führen. Da hierbei direkt das Kältemittel nach außen befördert wird, bestehen die Leitungen bei diesem System nicht aus Kunststoff, sondern handelt es sich hierbei um Kupferleitungen mit PE-Beschichtung. Das Kupfer muss die kältetechnischen Anforderungen erfüllen. (vgl. Schlagnitweit und Wagner 2003)

Die Erdkollektorkreise gibt es vom Hersteller in 75-Meter-Rollen. Die Anzahl der Kreise hängt von der Größe der Anlage, der Art des Erdreichs, und in weiterer Folge von dessen Entzugsleistung ab. Auch hier ist es sehr empfehlenswert die Angaben des Herstellers zu beachten.

In nachstehender Abbildung (Abb.24) ein Ausschnitt aus einem technischen Datenblatt der Direktverdampfer-Wärmepumpen der Firma KNV Energietechnik zu sehen.

Greenline DXE-F		04	06	08	10	12	15	18
Wärme-/Aufnahmeleistung	*4/35 [kW]	6,2/1,3	8,0/1,7	9,8/2,0	11,3/2,3	15,6/3,3	19,3/3,9	21,5/4,4
COP	*4/35 [-]	4,9	4,8	4,9	5,0	4,7	4,9	4,9
Wärme-/Aufnahmeleistung	*-1/35 [kW]	5,6/1,3	7,0/1,6	8,4/2,0	9,6/2,3	13,5/3,3	15,9/3,8	17,8/4,2
COP	*-1/35 [-]	4,1	4,2	4,2	4,2	4,1	4,2	4,2
Nenndurchfluss Wärmeträger	$\Delta t = 5K$ [m³/h]	1,1	1,4	1,7	2,0	2,8	3,3	3,7
zul. externer Druckabfall	[kPa]	28	28	26	26	26	35	38
Schallleistungspegel (L_{WA})	[dB]	50						
Elektrischer Anschluss	[V]	3x400 + N + PE 50 Hz / 230 (Steuerspannung)						
Empfohlene Absicherung inkl. E-Patrone	[A]	C13	C13	C13	C16	C16	C16	C20
Nenn- Betriebsstrom	[A]	3,2	4,0	4,3	5,5	7,5	8,8	10
Verdichter Startstrom (mit Sanftanlasser)	[A]	15	18	20	25	34	40	45
Kältemittel	R407c [kg]	5	6	7	8	10	12	14
Abmessungen Modell 1145	B / T / H [mm]	600 x 550 x 1500						
Gewicht	[kg]	150	160	170	175	180	185	190
CU-Verdampfer je 75l/m (KNV Empfehlung)	Kreise	5	6	7	8(2x4)	10(2x5)	12(2x6)	14(2x7)
Erdkollektorfläche Richtwerte, $VA = 60-80cm$	m²	205-300	270-360	330-420	360-480	450-600	540-720	630-840

Abb. 24: Technisches Datenblatt Direktverdampfer-Wärmepumpe (KNV Energietechnik, 2014)

Der Abbildung 24 kann entnommen werden, dass beispielsweise bei einer Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 5,6 kW (E-1/W35), fünf Erdkollektorkreise erforderlich sind, und bei einer Heizleistung von 9,6 kW (E-1/W35) acht Kreise benötigt werden. Ebenfalls hat hier der Hersteller die benötigte Verlegefläche bei einem Abstand von 60-80cm angegeben.

3.3.3 Vor- und Nachteile

Folgende Vor- und Nachteile ergeben sich bei Direktverdampfer-Wärmepumpen: (Bonin 2009, S.25)

Vorteile:

- sehr guter Wirkungsgrad (nur Wasser/Wasser Systeme sind effizienter)
- hohe Betriebssicherheit
- lange Lebensdauer

Nachteile:

- hohe Materialkosten beim Erdkollektor (lange Kupferleitungen und viel Kältemittel)
- keine Kühlung über die Wärmepumpe möglich

3.4 Wasser/Wasser- Wärmepumpen

3.4.1 Aufbau

Bei Wasser/Wasser-Wärmepumpen ist Brunnenwasser die Wärmequelle. Dieses wird über einen Saugbrunnen mit Hilfe einer Unterwasser-Pumpe über den Verdampfer in der Wärmepumpe befördert. In den meisten Fällen stehen 10°C als Grundwasser-Temperatur zur Verfügung. Durch die Abgabe der Energie an das Kältemittel im Inneren der Wärmepumpe kühlt das Grundwasser um 3K ab, und wird mit der verringerten Temperatur von 7°C in den Schluckbrunnen abgeführt. Der Abstand der beiden Brunnen sollte mind. 10 Meter betragen. (Bonin 2009, S.21)

Das nachfolgende Bild (Abb.25) zeigt den schematischen Aufbau einer Wasser/Wasser-Wärmepumpe.



Abb. 25: Darstellung Wasser/Wasser-Wärmepumpe mit Brunnen (KNV Energietechnik, Gesamtprospekt 2014, S.11)

3.4.2 Bauarten

Wasser/Wasser- Wärmepumpen werden vorwiegend als Kompaktgeräte für die Innenaufstellung gebaut. Dies bedeutet, dass die Wärmepumpe samt allen Komponenten im Technikraum aufgestellt ist, und nur die Wärmequellenleitungen nach außen zum Brunnen führen. (Bonin 2009, S.21)

Bis noch vor einigen Jahren wurden die meisten Wasser/Wasser-Wärmepumpen ohne Systemtrennung ausgeführt. Das heißt das Brunnenwasser wurde direkt in die Wärmepumpe über den Verdampfer gepumpt, was zur Folge hatte, dass sehr viele Schäden dadurch entstanden sind. Schuld daran war die Wasserqualität. Zum Thema „Wasserqualität“ gibt es in Kapitel 4.3 nähere Erläuterungen.

Bei zu hohem Eisen- und Mangangehalt im Grundwasser setzt sich der Verdampfer zu und es besteht die Gefahr einer Vereisung und somit eines Ausfalls der Wärmepumpe. Hinsichtlich dieses Problems haben sich sehr viele Hersteller dazu entschlossen, nur mehr Systeme mit einem Zwischenkreis anzubieten. Auf alle Fälle sollte auf eine Wasseranalyse nicht verzichtet werden. (Bonin 2009, S.64)

Die nachkommende Darstellung (Abb.26) zeigt den schematischen Aufbau einer Wasser/Wasser-Wärmepumpe mit Systemtrennung.

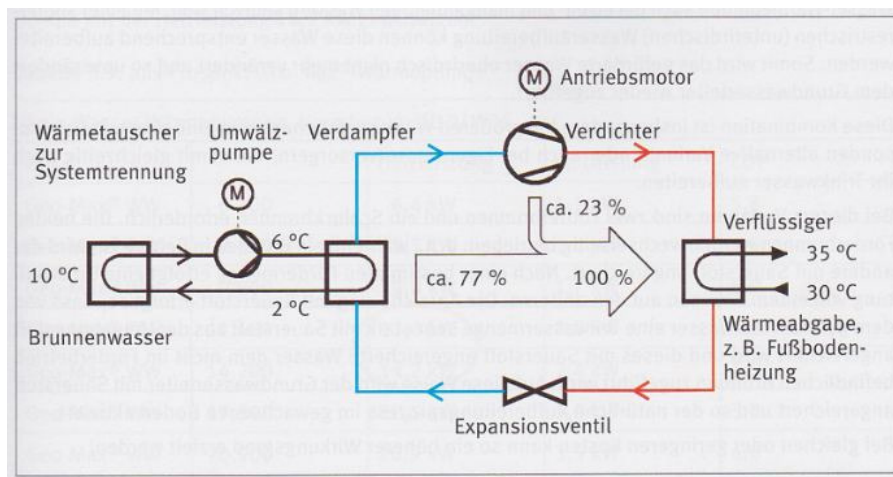


Abb. 26: Schema Wasser/Wasser- Wärmepumpe mit Systemtrennung (Bonin 2009, S.67)

Wie in Abbildung 26 zu sehen ist, muss bei der Systemtrennung ein weiterer „Zwischenwärmetauscher“ eingebaut werden. Ebenso ist zur Unterwasser-Pumpe noch eine weitere Umwälzpumpe, einschließlich Sicherheitsgruppe und Ausdehnungsgefäß, für den Zwischenkreis notwendig. Zum Schutz des Verdampfers muss in den Zwischenkreis Frostschutzmittel (Sole) gefüllt werden.

Durch die Übertragungsverluste und den Energiebedarf der zusätzlichen Umwälzpumpe wird der Gesamtwirkungsgrad natürlich verschlechtert. Auf der anderen Seite hat man hier eine Anlage mit höchster Betriebssicherheit. (Bonin 2009, S.67)

3.4.3 Vor- und Nachteile

Bei Wasser/Wasser-Wärmepumpen ergeben sich folgende Vor- und Nachteile: (Bonin 2009, S.22)

Vorteile:

- höchste Effizienz aller Wärmepumpen-Systeme
- keine hohen Kosten für Tiefenbohrung
- Beheizung und Kühlung möglich

Nachteile:

- bei schlechter Wasserqualität Schaden möglich
- Abhilfe mit Systemtrennung teuer und führt zu Effizienzverlust
- Unterwasserpumpe braucht viel Strom (400V Anschluss)
- wasserrechtliche Bewilligung notwendig

3.5 Luft/Wasser- Wärmepumpen

3.5.1 Aufbau

Luft/Wasser-Wärmepumpen entziehen die zum Verdampfen des Kältemittels benötigte Energie aus der Außenluft. Diese steht überall und in unendlicher Menge zur Verfügung. (Sobotta 2008, S.89).

Doch die geringe spezifische Wärmekapazität von Luft erfordert verhältnismäßig große Luftmengen, welche durch den Verdampfer bewegt werden müssen. Dadurch sind sie technisch zwar etwas aufwendiger, doch insgesamt um einiges günstiger als alle anderen Systeme. Der erhöhte technische Aufwand setzt sich aus einem großen Verdampfer und dem dazugehörigen Ventilator zusammen. (Bonin 2009, S.26)

Schematisch lässt sich eine Luft/Wasser-Wärmepumpe wie folgt darstellen. (Abb.27)

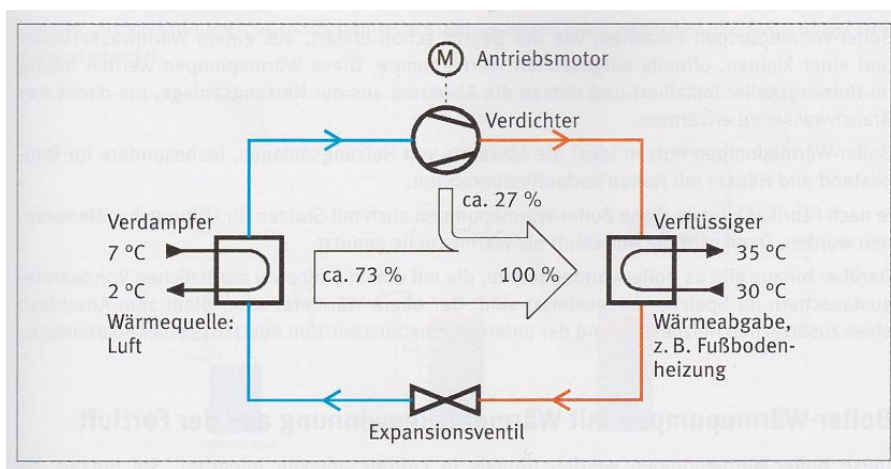


Abb. 27: Schema Luft/Wasser- Wärmepumpe (Bonin 2009, S.27)

Ein großes Problem bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen stellen die schwankenden Außenlufttemperaturen dar. Vor allem, wenn am meisten Energie benötigt wird, ist es draußen am kältesten, und dadurch der Temperatur-Hub am größten. Deswegen haben sie für diese Betriebszeiten einen schlechten Wirkungsgrad, wobei sie in der Übergangszeit bessere Wirkungsgrade als Sole/Wasser-

Wärmepumpen erreichen. Mit sinkender Außentemperatur verschlechtert sich nicht nur die Effizienz der Wärmepumpe, sondern auch die Heizleistung sinkt. Aus diesem Grund werden sie fast immer bivalent betrieben. Als zusätzliche Energiequelle kommt meist ein Elektroheizstab oder ein Öl- bzw. Gaskessel zum Einsatz. (Bonin 2009, S.26)

3.5.2 Bauarten

Grundsätzlich wird hier zwischen Kompaktanlagen und Splitanlagen differenziert. (Bonin 2009)

3.5.2.1 Kompaktanlagen

Bei Kompaktanlagen befinden sich die Wärmepumpe und der Verdampfer in einem Gehäuse. Weiterhin muss zwischen Kompaktanlagen für die Innenaufstellung und für die Außenaufstellung unterschieden werden.

Kompaktanlage für die Innenaufstellung:

Wie bereits in Kapitel 3.5.1 erwähnt, müssen große Luftmengen transportiert werden. Aus diesem Grund sind bei dieser Aufstellungsvariante sehr große Luftkanäle nötig, welche die Luft zu- und abführen. (Bonin 2009, S.27)

Die folgende Abbildung (Abb.28) zeigt eine typischen Luft/Wasser-Anlage in kompakter Bauweise mit Innenaufstellung.

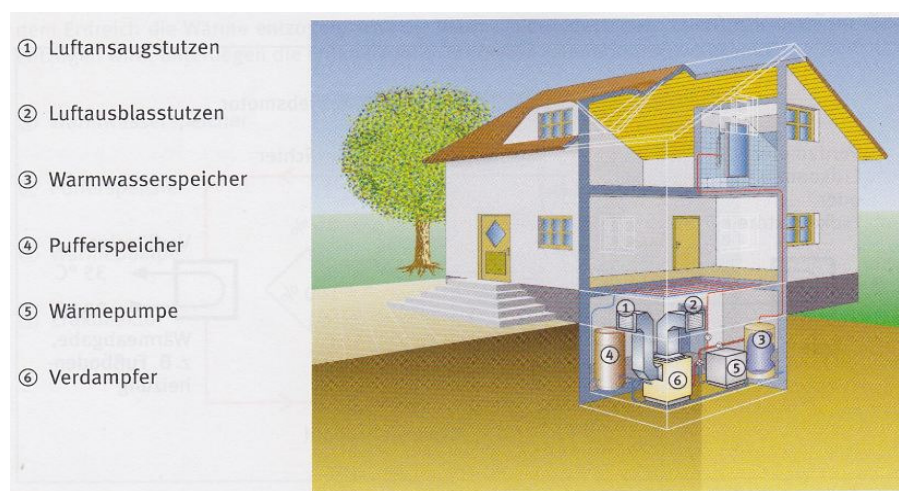


Abb. 28: Luft/Wasser Wärmepumpenanlage mit Innenaufstellung (Bonin 2009, S.26)

Kompaktanlage für die Außenaufstellung:

Bei der Außenaufstellung steht die komplette Wärmepumpeneinheit im Freien. Zur Anschauung dient die Abbildung 29. Die Installation erfolgt mit kleinstem Aufwand, da lediglich ein Fundament gemacht werden muss und die Heizungsleitungen ins Haus zu führen sind.

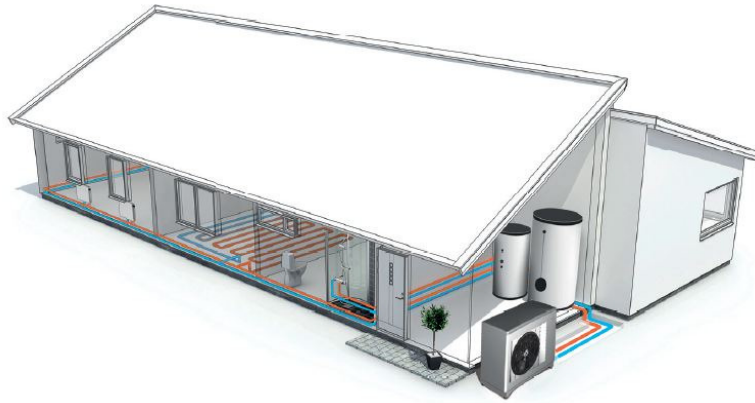


Abb. 29: Luft/Wasser Wärmepumpe-Außenaufstellung (KNV Energietechnik, Gesamtprospekt 2014, S.18)

Ein Ventilator im Gerät lässt die Verdampferereinheit mit Luft durchströmen. Das Wärmenutzungsmedium (Heizungswasser) wird somit bereits draußen erhitzt und muss nur noch mit Hilfe einer Umwälzpumpe ins Haus befördert werden. (Waldschmidt 2007)

Ein großes Problem stellt meiner Ansicht nach die Vereisungsgefahr dar. Bei einem Stromausfall ist natürlich auch die Heizungsumwälzpumpe nicht mehr in Betrieb. Dann sind die gesamte Wärmepumpe sowie die Heizungsleitungen der Witterung ausgesetzt. Aus diesem Grund empfiehlt Bonin (2009, S.27) bei solchen Systemen die Anlage mit Frostschutz zu füllen oder überhaupt eine Systemtrennung zu installieren.

3.5.2.2 Splitanlagen

Splitanlagen sind Luftwärmepumpen, welche aus zwei Teilen bestehen. Die Wärmepumpe samt Komponenten befindet sich im Innenbereich und nur der Verdampfer samt Ventilator steht im Außenbereich. (Bonin 2009, S.27). In Abbildung 30 wird das System ideal dargestellt.

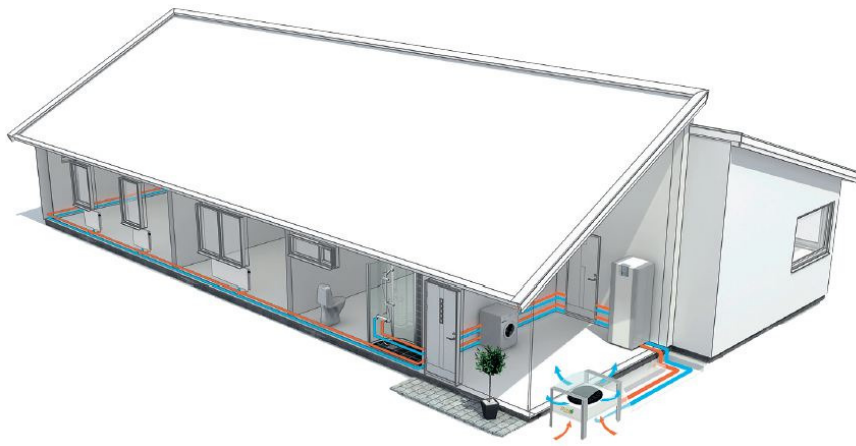


Abb. 30: Luft/Wasser Wärmepumpe-Splitausführung (KNV Energietechnik, Gesamtprospekt 2014, S.19)

Sobotta (2008, S.90) beschreibt es im Prinzip sehr trefflich indem er sagt, dass hierbei „*der Kältekreis der Wärmepumpe auf zwei Bauteile aufgeteilt wird*“.

3.5.3 Vor- und Nachteile

Abhängig vom Aufbau und von der Bauart ergeben sich folgende Vor- bzw. Nachteile bei Luft/Wasser-Wärmepumpen. (Bonin 2009, S.27)

Vorteile:

- geringer Installationsaufwand
- keine hohen Kosten für Tiefenbohrung oder Brunnenbau
- Beheizung und Kühlung möglich

Nachteile:

- schlechterer Gesamtwirkungsgrad als bei anderen Systemen
- stark abhängig von Außentemperatur
- mögliche Geräuschbildung außen

4 Wärmequellen der Wärmepumpe

In diesem Kapitel geht es vorrangig um die Wärmequellenarten und um deren Einsatzmöglichkeiten sowie den spezifischen Eigenschaften. Da Wärmequellen im Prinzip die gespeicherte Energie der Sonne sind, wird durch den Einsatz von Wärmepumpen „Sonnenenergie“, also erneuerbare Energie genutzt. (Waldschmidt 2007, S.109)

4.1 Erdreich als Wärmequelle

Durch die Sonneneinstrahlung wird Wärme im Erdreich gespeichert. Auch mit Hilfe des versickernden Regenwassers dringt die eingestrahlte Wärme bis in einige Meter in das Erdreich ein und wird gespeichert. (Waldschmidt 2007, S.110)

Da im Erdreich ganzjährig konstante Temperaturen herrschen, sind diese Anlagen ideal für eine monovalente Betriebsweise geeignet. (Ochsner 2000, S.43)

Die verschiedenen Bauarten von Erdreich-Wärmeüberträgern wurden in Kapitel 3.2.2.1 Flachkollektor und Kapitel 3.2.2.2 Tiefenbohrung bereits behandelt. In den nachfolgenden Seiten wird mitunter auch auf die Eigenschaften des Erdreichs bei diesen beiden Systemen näher eingegangen.

4.1.1 Erdreichnutzung mittels Flachkollektor

Die Temperatur des Erdreichs bewegt sich in 1-2 Meter Tiefe zwischen 6°C und 16°C. Im Winter liegt der Wert näher bei 6°C.

Laut Waldschmidt (2009, S.110/111) ist die Erdreich-Temperatur als Kriterium für das Wärmeangebot im Wesentlichen abhängig von:

- der Dauer und Intensität der Sonneneinstrahlung
- der Regenniederschlagsmenge
- der Windgeschwindigkeit

- der Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs
- der Wärmekapazität des Erdreichs

Die richtige Auslegung des Flachkollektors ist von enormer Bedeutung, daher ist es Voraussetzung dafür die Bodenbeschaffenheit zu kennen.

Anhand folgender Tabelle (Abb.31) lässt sich der Erdkollektor sehr einfach und schnell dimensionieren.

Bodenbeschaffenheit	Verlegeabstand	Rohrdimension
trockenes Erdreich	0,5 m	DA 25
normales Erdreich	0,7 m	DA 32
feuchtes Erdreich	0,8 m	DA 40

Bodenbeschaffenheit	Verlegefaktor	Entzugsleistung
Mittelwert: bindiger Boden mit Restfeuchtegehalt	25 m ² / kW	30 W / m ²
trockener nicht bindiger Boden	75 m ² / kW	10 W / m ²
bindiger Boden, feucht	25 m ² / kW	20–30 W / m ²
wassergesättigter Sand, Kies	20 m ² / kW	40 W / m ²

Abb. 31: Bodenbeschaffenheit-Entzugsleistungen (Sobotta 2008, S.74)

Anbei ein kurzes Beispiel zum besseren Verständnis:

Annahme: Heizleistung der Wärmepumpe = 8 kW, elektrische Antriebsleistung der Wärmepumpe = 2kW, Feuchtes Erdreich, bindiger Boden, max. Kreislänge 100m

Die Auslegung des Flachkollektors erfolgt über die Kälteleistung der Wärmepumpe.

Kälteleistung (kW) = Heizleistung (kW) – elektr. Antriebsleistung (kW)

= 8 kW – 2 kW => 6 kW

Verlegefläche (m²) = Kälteleistung (W) / Entzugsleistung (W/m²)

$$= 6000 \text{ W} / 25 \text{ W/m}^2 \Rightarrow 240 \text{ m}^2$$

Erdkollektor-Gesamtrohrlänge (m) = Verlegefläche (m²) / Verlegeabstand (m)

$$= 240 \text{ m}^2 / 0,8 \text{ m} \Rightarrow 300 \text{ m}$$

Anzahl Erdkollektor-Kreise = Erdkollektor-Gesamtlänge (m) / max. Kreislänge (m)

$$= 300 \text{ m} / 100 \text{ m} \Rightarrow 3 \text{ Kreise}$$

4.1.2 Erdreichnutzung mittels Tiefensonde

Durch immer kleiner werdende Grundstücke wird die Verlegung eines ausreichend großen Flachkollektors immer schwieriger. Ganz nach dem Motto *„Was in waag-rechter Lage funktioniert, sollte doch auch in senkrechter Lage möglich sein“*, wurde mit der Entwicklung von Tiefensonden begonnen. (Waldschmidt 2009, S-111)

Waldschmidt (2009) beschreibt, dass die Wärmespeicherung durch die Sonneneinstrahlung, unterstützt durch die Versickerung von Regenwasser, nur einige Meter tief reicht. Dadurch kommt hier überwiegend die oberflächennahe Geothermie zum Einsatz.

Nach Hartman und Schwarzbürger (2009, S.200) spricht man bei oberflächennaher Geothermie von Tiefen bis 100 Meter und mehr. Ab 400 Meter Tiefe ist von Tiefengeothermie die Rede. Die saisonale Schwankung der Temperatur im Boden hört bei 15 Meter Tiefe auf. Dort herrschen im Jahresverlauf konstant 10°C. Dies ist in Abbildung 27 sehr gut zu erkennen. Danach steigt die Erd-Temperatur alle 100 Meter um ungefähr 3K.

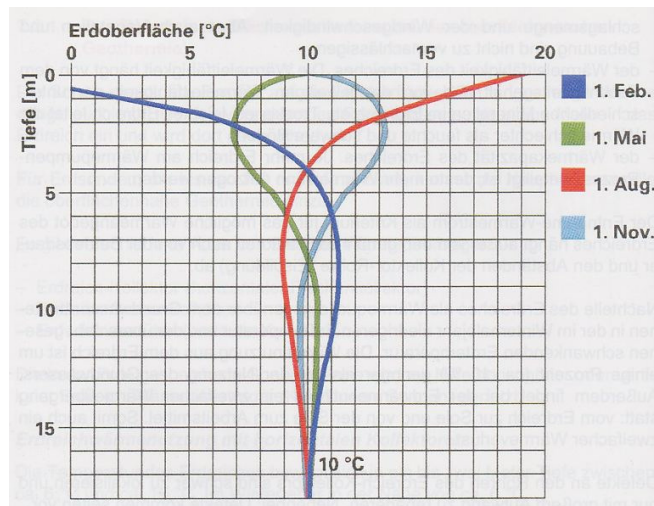


Abb. 32: Temperaturverlauf Erdreich (Waldschmidt und Schwarzbürger 2009, S.112)

Auch hier ist die korrekte Auslegung von enormer Bedeutung. Voraussetzung für die richtige Dimensionierung ist das Wissen über die Bodenbeschaffenheit.

Anhand folgender Tabelle (Abb.33) lässt sich die Tiefensonde sehr einfach und schnell dimensionieren.

Bodenbeschaffenheit	Ergiebigkeit Untergrund Heizleistung (m / kW)	Spezifische Entzugsleistung (W / m)
Trockenes Sediment	30 m / kW	25 W / m
Normales wassergesättigtes Sediment	12,5 m / kW	60 W / m
Mittelwert normales Sediment	15 m / kW	50 W / m
Kies, Sand trocken	< 30 m / kW	< 25 W / m
Kies, Sand wasserführend	ca. 10 m / kW	65–80 W / m
Ton, Lehm feucht	ca. 18 m / kW	35–50 W / m
Kalkstein	ca. 12 m / kW	55–70 W / m
Sandstein	ca. 10,5 m / kW	65–80 W / m
Granit	ca. 10 m / kW	65–85 W / m
Basalt	ca. 16 m / kW	40–65 W / m
Gneis	ca. 10 m / kW	70–85 W / m

Abb. 33: Entzugsleistungen der verschiedenen Bodenklassen (Sobotta 2008, S.68)

Die Angaben in Abbildung 33 beruhen auf folgenden Voraussetzungen:

- Auslegung auf 1800 Betriebsstunden/a
- Abstand zwischen zwei Erdsonden mind. 5m
- Erdwärmesonde als Duplexsonde ausgeführt
- max. Erdsondentiefe 100 Meter

Anbei ein kurzes Beispiel zum besseren Verständnis:

Annahme: Heizleistung der Wärmepumpe = 10 kW, elektrische Antriebsleistung der Wärmepumpe = 2,5 kW, Erdreich Kalkstein

Die Auslegung der Tiefensonde erfolgt über die Kälteleistung der Wärmepumpe.

Kälteleistung (kW) = Heizleistung (kW) – elektr. Antriebsleistung (kW)

= 10 kW – 2,5 kW => 7,5 kW

Gesamtbohrtiefe (m) = Kälteleistung (W) / spezifische Entzugsleistung (W/m)

= 7500 W / 55 W/m => 136 m Bohrtiefe

Es muss nun mit der jeweiligen Bohrfirma abgeklärt werden ob eine Bohrung mit 136 Meter im betreffenden Gebiet möglich ist, oder ob zwei Bohrungen zu je 68 Meter gemacht werden müssen.

4.2 Wasser als Wärmequelle

Prinzipiell kann festgehalten werden, dass die Wassergewinnung in Österreich zu 50% aus Quellwasser, zu 49% aus Grundwasser und zu 1% aus Oberflächenwasser erfolgt. (Haidenbauer und Winkelbauer 2003, S.178)

Für die Nutzung von Wasser als Wärmequelle von Wärmepumpen stehen Oberflächenwässer und Grundwässer zur Verfügung. Laut Waldschmidt (2009,

S.113) hat Wasser als bestechendste Eigenschaft seine hohe spezifische Wärmekapazität.

Somit ist Wasser zwar als Grund-, Fluss-, Seen- und Bachwasser reichlich vorhanden, doch sollten bei der Planung einige Punkte beachtet werden: (Waldschmidt, 2009)

- örtliche Gegebenheit
- ausreichendes Angebot in Bezug auf Masse und Temperatur
- Verschmutzungsgrad
- Behördliche Genehmigung

Bei der Nutzung als Wärmequelle für Wärmepumpenanlagen werden in Österreich fast ausschließlich Grundwässer genutzt. Durch seine physikalischen Eigenschaften ist es die mit Abstand ergiebigste Wärmequelle. Im Jahresmittel stehen uns zwischen 8°C und 12°C zu Verfügung, die äußeren Einflüsse sind minimal.

Zu beachten ist allerdings die chemische Zusammensetzung, wie beispielsweise der Eisen- und Mangananteil. Aber auch einige andere Stoffe können den Wärmetauscher in der Wärmepumpe angreifen und eine Korrosion verursachen. (Bonin 2009)

Die folgende Abbildung (Abb.34) zeigt Grenzwerte (Richtwerte) wichtiger Inhaltsstoffe des Grundwasser, welche eingehalten werden sollten um eine Korrosion des Wärmetauschers zu vermeiden.

Stoffbezeichnung	Grenzwert	Bemerkung
Partikeldurchmesser	< 1 mm	Ablagerungen im Wärmetauscher
Temperatur	< 20 °C	
pH-Wert	6,5–9	Mögliche Korrosion von Edelstahl bei zu hohen Anteilen (saures Wasser)
Sauerstoff O ₂	< 2 mg/l	
Leitfähigkeit	< 500 µS/cm	
Gesamthärte	> 4° dH < 8,5° dH	
Eisen (Fe)	< 2 mg/l	Führt in Verbindung mit Sauerstoff zur Verockerung des Schluckbrunnens
Mangan (Mn)	< 1 mg/l	Führt in Verbindung mit Sauerstoff zur Verockerung des Schluckbrunnens
Aluminium (Al)	< 0,2 mg/l	Korrosionsgefahr für Kupfer
Ammoniak (NH ₃)	< 2 mg/l	Korrosionsgefahr für Kupfer
Nitrat (NO ₃)	< 70 mg/l	
Sulfat (SO ₄)	< 70 mg/l	Mögliche Korrosion von Edelstahl bei zu hohen Anteilen
Chlorverbindungen (Cl)	< 300 mg/l	Mögliche Korrosion von Edelstahl bei zu hohen Anteilen
Gelöste Kohlensäuren (CO ₂)	< 5 mg/l	Korrosionsgefahr für Kupfer
Ammonium	< 20 mg/l	

Abb. 34: Richtwerte wichtiger Wasserinhaltsstoffe (Sobotta 2008, S.84)

Ein weiterer wichtiger Punkt welcher unbedingt erforderlich ist, ist die Ausführung einer Probebohrung mit den dazugehörigen geologischen und hydrogeologischen Gutachten. Nur mit deren Hilfe können die Grundwasser Strömungsverhältnisse und somit die Anordnung der Saug- und Schluckbrunnen bestimmt werden. (Sobotta 2008, S.86)

4.3 Luft als Wärmequelle

Die Luft als Wärmequelle hat den großen Vorteil, dass sie überall und in beliebigem Volumen verfügbar ist. Diesen quantitativen Vorteilen stehen einige qualitative Nachteile entgegen. (Ochsner 2000)

Gegenüber dem Erdreich und dem Grundwasser gibt es tägliche und jährliche Temperaturschwankungen und natürlich herrschen genau dann niedrige Außentemperaturen, wenn die Wärme am meisten gebraucht wird. Hinzu kommt die sehr geringe spezifische Wärmekapazität der Luft.

Die Konsequenzen, die sich hieraus ergeben sind beispielsweise hohe Volumenströme und die damit verbundenen großen Abmessungen für Luftkanäle, den Verdampfer und den Ventilator. (Waldschmidt 2009, S.112)

Die richtige Dimensionierung der Anlage ist enorm wichtig in Bezug auf die Investitionskosten und auch auf die Effizienz. Zu groß dimensionierte Wärmepumpen haben unnötig hohe Anschaffungskosten, und bei zu klein dimensionierten Wärmepumpen sind die Jahresbetriebsstunden und damit die Betriebskosten zu hoch.

Für die Auslegung müssen unbedingt zwei Faktoren beachtet werden. Bei sinkender Außentemperatur: (Sobotta 2008)

- erhöht sich der Wärmebedarf des Gebäudes
- wird die Heizleistung der Wärmepumpe geringer

Daher hat die Dimensionierung der Wärmepumpe so zu erfolgen, dass auch bei der tiefsten Außentemperatur die Wärmeversorgung sichergestellt ist. Üblicherweise gelten die Normaußentemperaturen des jeweiligen Standortes als Richtwert. (Sobotta 2008, S.94)

Die Baugröße einer Luft/Wasser-Wärmepumpe wird anhand des sogenannten Bivalenzpunktes ausgelegt. Dieser Punkt beschreibt die Außentemperatur, bis zu der die Heizlast ausschließlich von der Wärmepumpe gedeckt wird. Unterhalb des

Bivalenzpunktes arbeitet ein weiterer Wärmeerzeuger bis zur Deckung der Gesamtheizlast.

Die Ermittlung des Bivalenzpunktes erfolgt mit Hilfe der Leistungskurven der Wärmepumpe. Dies lässt sich grafisch wie folgt ermitteln. (vgl. Sobotta 2008)

Anbei ein Beispiel zur Bestimmung des Bivalenzpunktes:

Bauart: Einfamilienhaus

Norm-Heizlast nach DIN EN 12831: 15 kW

Norm-Außentemperatur laut Standort: -16°C (Vöcklabruck)

Wärmeabgabesystem: Fußbodenheizung mit 35°C Vorlauftemperatur

Bei der folgenden Abbildung (Abb.35) handelt es sich um das Leistungsdiagramm der Luft/Wasser-Wärmepumpen der Firma KNV Energietechnik. Die Wärmepumpen-Type heißt „Greenline LWSE-F“ und diese gibt es in mehreren Baugrößen. Als zusätzlichen Wärmeerzeuger hat die Wärmepumpe einen Elektroheizstab mit einer Leistung von 9 kW integriert.

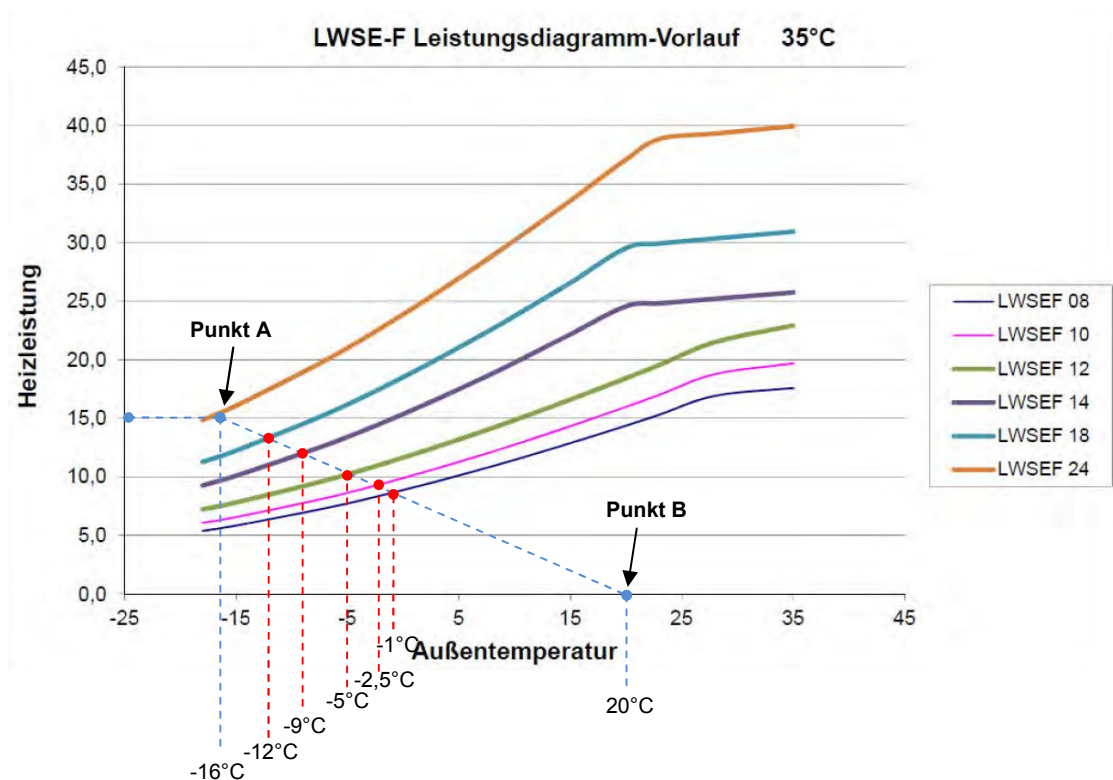


Abb. 35: Leistungsdiagramm LWSE-F (KNV Energietechnik, Handbuch LWSE-F, S.82)

Als erstes wird der Punkt A ermittelt. Dabei handelt es sich um den Schnittpunkt zwischen der Norm-Außentemperatur (-16°C) und der Norm-Heizlast (15 kW). Von diesem Schnittpunkt wird eine Gerade zum Punkt B gezogen. Punkt B stellt die Außentemperatur als Raumtemperatur dar, da ab 20°C keine Beheizung mehr nötig ist und hier die Wärmepumpenleistung gleich „0“ ist. Die Gerade zwischen Punkt A und B stellt dabei den vereinfachten Wärmebedarf des Gebäudes, sinkend mit steigender Außentemperatur dar. Dazwischen bilden sich mehrere Schnittpunkte mit den jeweiligen Leistungskurven der Wärmepumpe. Dabei handelt es sich um die Bivalenzpunkte für jede der Wärmepumpengrößen. (vgl. Sobotta 2008, S.94)

Folgende Erkenntnisse können nun daraus geschlossen werden:

- bei der LWSE-F 24 liegt der BP genau auf der Normaußentemperatur, daher könnte die Anlage monovalent betrieben werden.
- bei der LWSE-F 18 liegt der BP bei -13°C , die WP-Leistung im BP beträgt 13,5 kW
- bei der LWSE-F 14 liegt der BP bei -9°C , die WP-Leistung im BP beträgt 12,5 kW
- bei der LWSE-F 12 liegt der BP bei -5°C , die WP-Leistung im BP beträgt 10 kW
- bei der LWSE-F 10 liegt der Bivalenzpunkt bei $-2,5^{\circ}\text{C}$, die WP-Leistung im BP beträgt 9 kW
- bei der LWSE-F 08 liegt der Bivalenzpunkt bei -1°C , die WP-Leistung im BP beträgt 8 kW

Grundsätzlich könnte jede dieser Baugrößen ausgewählt werden. Doch die Erfahrung hat gezeigt, dass ein Bivalenzpunkt zwischen -5°C und -10°C das sinnvollste Verhältnis zwischen Anschaffungskosten und Betriebskosten ergibt. (Sobotta 2008, S.95)

Folgendes muss immer gelten:

Die Heizlast des Gebäudes muss kleiner sein als die Heizleistung der Wärmepumpe addiert mit dem zusätzlichen Wärmeerzeuger. (Ochsner 2000)

5 Trinkwassererwärmung mittels Wärmepumpen

Nachdem in den Kapiteln 1-4 sämtliche Grundlagen der Wärmepumpentechnik erläutert wurden, geht es in Kapitel 5 um die möglichen Systeme der Trinkwassererwärmung mittels Wärmepumpen, die jeweiligen Vor- und Nachteile und ebenso um die benötigten Warmwassermengen.

5.1 Allgemeine Hinweise

Die Aufgabe von Wärmepumpen ist nicht nur die Beheizung von Gebäuden und der damit erreichenden Behaglichkeit für die Nutzer, sondern auch vor allem die Bereitstellung von ausreichend Warmwasser. (Hartmann und Schwarzbürger 2009, S.103)

Ochsners (2000, S.97) Ansicht nach wurde die Warmwasserbereitung früher als Nebenprodukt“ der Zentralheizung gesehen. Große Öl- oder Gaskessel wurden für die Heizung ausgelegt und waren für eine sinnvolle Warmwasserbereitung schlichtweg viel zu überdimensioniert. Dies gilt insbesondere außerhalb der Heizperiode. Da bei den Wärmepumpen-Heizungsanlagen vorwiegend Nieder-temperatur-Systeme zum Einsatz kommen, ist es hier sehr wichtig ein besonderes Augenmerk auf die Wahl der Warmwasserbereitung zu richten.

Heutzutage gelten jedoch andere Aspekte. Waldschmidt (2006, S.11) beschreibt diese Thematik folgendermaßen: *„Die Qualität von modernen Wohngebäuden wird immer stärker durch die darin eingebaute und genutzte Technik bestimmt. Erst das sinnvolle Zusammenspiel einer richtig geplanten und bemessenen Heizung mit einer Lüftungstechnik sowie mit einer effizienten Technik zur Erwärmung des Trinkwassers schafft ein optimales Wohnumfeld.“*

Da sich bei fast allen Wärmepumpen am Markt eine maximale Vorlauftemperatur von 55°C erzielen lässt, sind Systeme zu nutzen, welche diese Temperatur mit möglichst geringen Verlusten auf das Brauchwasser übertragen. Durch eine großzügige Dimensionierung des Wärmetauschers wird eine ausreichende Wassertemperatur gewährleistet. (Sobotta 2008, S.101)

Geht es nach Hartmann und Schwarzbürger (2009, S.103) muss das Wärmeangebot für Warmwasser folgende Anforderungen erfüllen:

- kontinuierliche und verzögerungsfreie Verfügbarkeit entsprechend Bedarf
- Einhaltung der geforderten Bereitschaftstemperatur
- Beachtung der Trinkwasserverordnung
- unkomplizierte und betreiberfreundliche Bedienung

5.2 Warmwasser-Bedarf

Grundlage der Anlagenplanung ist neben der Technik vor allem das Benutzerverhalten. Bewohner von Wohnungen oder Häusern sind Menschen mit vor allem verschiedenen Bedürfnissen. (Hartmann und Schwarzbürger 2009, S.105)

Wird Warmwasser in einem Speicher bevorratet, so muss die Größe ausreichend ausgelegt werden. Das Volumen richtet sich nach dem Bedarf der Bewohner. In der Praxis haben sich 40 Liter Warmwasser pro Person und Tag als Auslegungswert bewährt. Bei einem Vier-Personen-Haushalt ist das 160 Liter Warmwasser am Tag. Allerdings gilt es zu beachten, dass, wenn beispielsweise ein Familienmitglied eine Badewanne füllt, mindestens 150 Liter Warmwasser bereits verbraucht sind. Da die Wärmepumpe nicht die hohen Aufheiztemperaturen eines Heizkessels erreicht, dauert es länger bis sie dieses Volumen wieder erwärmt hat. Der Brauchwasserspeicher braucht demnach eine Reserve. Daher sollte er mindestens 200 Liter, und optimaler Weise 300 Liter fassen. (Hartmann und Schwarzbürger 2009, S.160)

Nachfolgende Abbildung (Abb.36) zeigt den Warmwasserbedarf für Wohnungen bei einmaliger Entnahme.

Anwendung	Wassermenge in l bei 40 °C
Vollbad	120 ... 150
Duschbad	30 ... 50
Haarwäsche Damen	10 ... 15
Haarwäsche Herren	5 ... 10
Händewaschen	2 ... 5
Putzwasser, je Eimer	8
Geschirrspülen (Tagesbedarf für 1 bis 4 Personen)	8 ... 20

Abb. 36: Warmwasserbedarf für Wohnungen bei einmaliger Entnahme (Hartmann und Schwarzbürger 2009, S.104)

In Abbildung 36 ist sehr gut erkennbar, dass im Gegensatz zum Vollbad, beim Duschen nur ein Drittel der Wassermenge verbraucht wird. Daher ist es sehr wichtig die Vorlieben der Bewohner in die Planung einzubeziehen. (Hartmann und Schwarzbürger 2009)

5.3 Systeme

Die Systeme zur Trinkwassererwärmung lassen sich nach Waldschmidt (2007, S.173) grob wie folgt unterscheiden:

- Trinkwassererwärmung mit der Heizungs-Wärmepumpe
- Trinkwassererwärmung mit der Warmwasser-Wärmepumpe

5.3.1 Trinkwassererwärmung mit der Heizungs-Wärmepumpe

Hierbei gibt es eine Vielzahl an Varianten. Diese haben alle ihre Vor- und Nachteile. Die Auswahl hängt stark von den örtlichen Gegebenheiten, den zur Verfügung stehenden Anschaffungskosten und den geforderten Temperatur- und Sicherheitsvorschriften ab. (Hartmann und Schwarzbürger 2009, S.103)

Des Weiteren kann hier noch zwischen Speicher- und Durchfluss-Systemen unterschieden werden. In der Wärmepumpentechnik werden vor allem Register- und Doppelmantel-Speicher eingesetzt. Bei der hygienischen Trinkwassererwärmung mittels Wärmepumpen bedient man sich meist Multifunktionsspeichern und Frischwassermodulen. (Sobotta 2008, S. 48-51)

Grundsätzlich sollten Warmwasserspeicher so aufgebaut sein, dass sich die warmen Wasserschichten im oberen Bereich, nicht mit dem unten nachfließenden Kaltwasser vermischen. Je höher und schmaler der Speicher ist, desto stabiler ist die Schichtung der Temperatur. Die Höhe sollte immer mindestens das Doppelte vom Durchmesser betragen. Zusätzliche Leit- und Trennbleche unterstützen die „sanfte“ Be- und Entladung. (Hartmann und Schwarzbürger 2009, S.103)

5.3.1.1 Trinkwassererwärmung über einen Registerspeicher

Sobotta (2008, S.48) gibt an, dass für einen störungsfreien Betrieb der Warmwasserbereitung die Übertragungsfläche des Wärmetauschers von enormer Bedeutung sei. Je 3-4 kW Heizleistung der Wärmepumpe, soll ca. 1 m² Wärmeübertragungsfläche veranschlagt werden. Diese Berechnung ist nur überschlägig. Bei zu kleiner Wärmetauscherfläche können niedrige Warmwasser-Temperaturen oder eine Störabschaltung der Wärmepumpe die Folge sein.

Die Abbildung 37 zeigt den prinzipiellen Anschluss eines Registerspeichers in Schnittdarstellung.

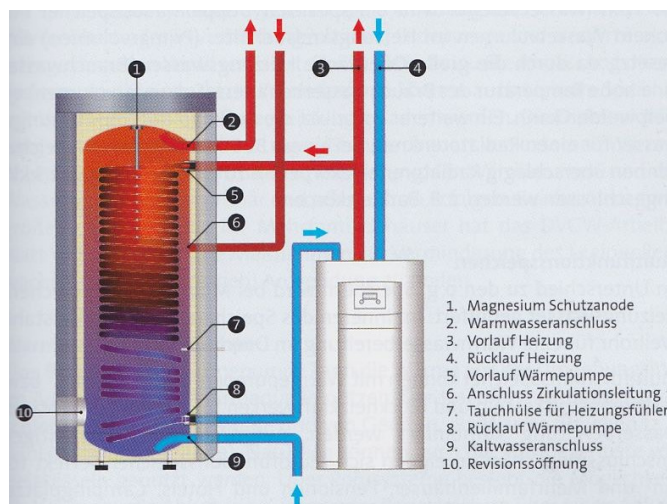


Abb. 37: Schnittdarstellung eines Registerspeichers (Sobotta 2008, S.49)

5.3.1.2 Trinkwassererwärmung über einen Doppelmantelspeicher

Seit einigen Jahren macht sich der Einsatz von Doppelmantelspeichern bei Wärmepumpen-Heizungen breit. Dieser hat im Heizungskreisbehälter (Primärvolumen) ein hohes Wasservolumen und durch die große Übertragungsfläche zwi-

schen Heizungswasser und Trinkwasser kann eine hohe Temperatur im Brauchwasserbehälter (Sekundärvolumen) erreicht werden. Hierbei handelt sich um ein „Boiler im Boiler“ System.

Durch die schnelle Nachladung der Wärmepumpe wird ein hoher Warmwasserkomfort gewährleistet und da ein Verkalken, wie beispielsweise bei einem Register, ausgeschlossen ist, besteht eine sehr hohe Betriebssicherheit. Das große Puffervolumen sorgt für eine niedrige Schalthäufigkeit. Durch die Email-Beschichtung haben diese Speicher eine hohe Lebensdauer. Eine Halbschalenisolation sorgt dafür, dass Stillstandverluste auf ein Minimum gesenkt werden.

Des Weiteren sind die Speicher mit einem Flanschanschluss für Solarkollektoren, einer zusätzlichen Muffe für Elektro-Heizstab, sowie weiteren Anschlüssen für die Hydraulik ausgestattet. Durch die Auskopplung des Heizungswassers für einen eigenen Radiatorenkreis, besteht auch die Möglichkeit einen Badheizkörper anzuschließen, um das Badezimmer ganzjährig zu beheizen (Sobotta 2008, S.49)

In folgender Darstellung (Abb.38) sind der prinzipielle Aufbau und das Innenleben eines Doppelmantelspeichers zu sehen.

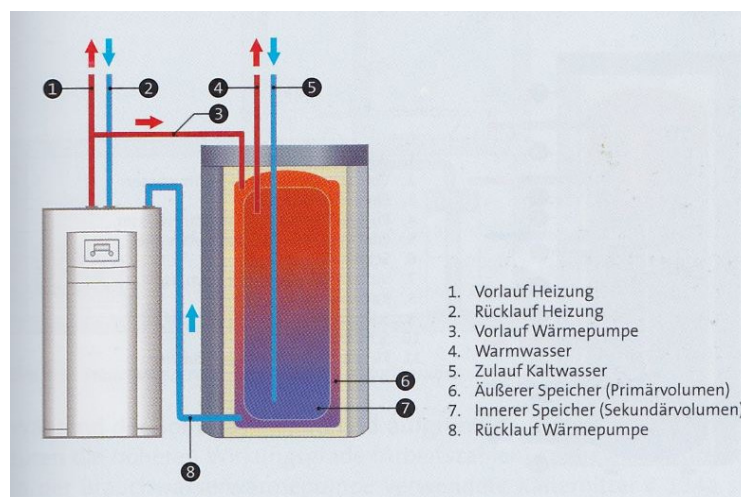


Abb. 38: Schnittdarstellung eines Doppelmantelspeichers (Sobotta 2008, S.49)

5.3.1.3 Trinkwassererwärmung über einen Multifunktionsspeicher

Im Gegensatz zu den oben genannten Speichern wird beim Multifunktionsspeicher, auch Kombispeicher genannt, Heizungswasser gepuffert. Im Inneren des Speichers sorgt ein Edelstahl-Wellrohr für eine Warmwasserbereitung im Durch-

flussprinzip. Multifunktionsspeicher können mit Wärmepumpen, Gas-, Öl-, Pellet- bzw. Festbrennstoffkesseln für Heizung und Trinkwassererwärmung kombiniert werden. Durch die vielen Anschlussmöglichkeiten sind diese Speicher bestens für Ein- und Mehrfamilienhäuser, Pensionen und Hotels und ebenso für Sport- und Betriebsstätten geeignet.

Meistens sind die Multifunktionsspeicher schon serienmäßig mit einem Solarregis- ter ausgestattet. So können sie auch zusätzlich solare Wärme für die Warmwas- serbereitung und Heizungsunterstützung genutzt werden. (Sobotta 2008, S.50)

In Abbildung 39 ist ein Multifunktionsspeicher im Schnitt dargestellt.

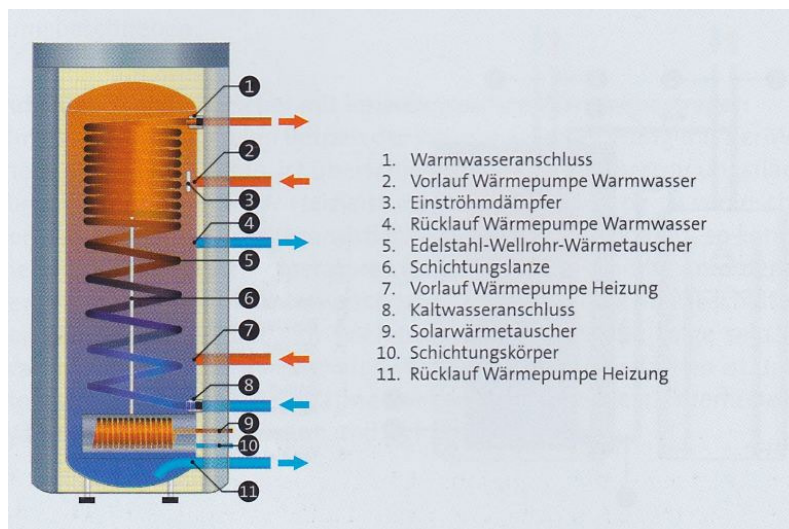


Abb. 39: Schnittdarstellung eines Multifunktionsspeichers (Sobotta 2008, S.50)

Der Einsatz eines solchen Speichers in Kombination mit einer Wärmepumpe macht vor allem in der Altbausanierung Sinn. Da dort meist für die Wärmeabgabe ein Heizkörpersystem, welches ohnehin hohe Vorlauftemperaturen benötigt, instal- liert ist, kann durch die Verwendung von nur einem Speicher sehr viel Platz im Technikraum gespart werden. Im Neubau werden Multifunktionsspeicher nur dann verwendet, wenn auch eine thermische Solaranlage realisiert wird. Bei einem Neubau mit einer Wärmepumpe und einer Fußbodenheizung, ohne zusätzlichen Energiebereiter, werden Multifunktionsspeicher kaum eingesetzt, da dabei der ge- samte Speicher aufgrund der Warmwasserbereitung auf hoher Temperatur gehalten werden muss, obwohl die Fußbodenheizung nur niedrige Vorlauftemperaturen

benötigt. Dies führt zu einem unnötigen Energieaufwand, was eine schlechte Jahresarbeitszahl zur Folge hat. (vgl. Schlagnitweit und Wagner 2003)

5.3.1.4 Trinkwassererwärmung mittels Frischwassermodulen

Aufgrund hoher Hygieneanforderungen an das Trinkwasser ist die Nachfrage von Durchflusssystemen in den letzten Jahren stark gestiegen. Multifunktionsspeicher mit ihrem großzügig ausgelegten Edelstahl-Wellrohr, waren die ersten Systeme mit hygienischer Trinkwassererwärmung, welche mittels Wärmepumpen betrieben wurden. Durch die etwas eingeschränkten Betriebseigenschaften der Wärmepumpe war der Einsatz von Frischwassermodulen lange Zeit kein Thema. Erst durch eine erhebliche Vergrößerung der Plattenwärmetauscher und dem Einsatz von Hocheffizienzpumpen, konnte ein effektiver Betrieb mit Wärmepumpen ermöglicht werden. (Schlagnitweit und Wagner 2003)

Bei dieser Art der Trinkwassererwärmung ist ein Pufferspeicher mit guter Schichtung erforderlich. Über eine externe Umwälzpumpe wird das heiße Pufferwasser über einen Plattenwärmetauscher gepumpt. Dieses erwärmt das vorbeiströmende Kaltwasser im Gegenstromprinzip. In Abbildung 40 ist ein solcher Aufbau dargestellt.

Die Pumpe schaltet sich erst ein, wenn auch tatsächlich Trinkwasser entnommen wird. Wichtig hierbei ist die Schüttleistung des Frischwassermodules. Sie gibt an, wie viel Liter Wasser pro Minute mit welcher Zapftemperatur bei welchen Bereitstellungstemperaturen erreicht werden. Die Angabe ist den jeweiligen Herstellerunterlagen zu entnehmen. Für ein Einfamilienhaus genügt in der Regel eine Schüttleistung von 25 Liter pro Minute. (Hartmann und Schwarzbürger 2009, S.164)

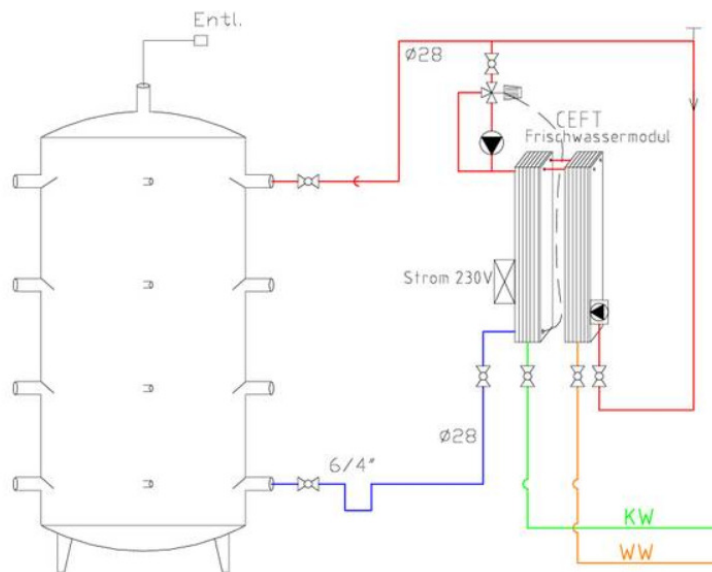


Abb. 40: Anschluss Pufferspeicher mit Frischwassermodul
(<http://www.ceft.at/Anschlussinfo.67.0.html>)

Das System der externen Frischwassererwärmung umfasst viele Komponenten und einen Regler samt Steuereinheit. Viele Hersteller bieten vormontierte Frischwasserstationen an. (Hartmann und Schwarzbürger 2009)

In Abbildung 41 ist eine Frischwasserstation der Firma CEFT-Energietechnik aus Linz zu sehen. Die Station besteht aus einem Plattenwärmetauscher, einer Umwälzpumpe mit Rückschlagklappe, Absperreinrichtungen, Temperatursensoren und entsprechenden Tauchhülsen, sowie einem Strömungssensor inklusive Regeleinheit.



Abb. 41: CEFT Frischwassermodul (<http://www.ceft.at/Technische-Date.68.0.html>)

5.3.2 Trinkwassererwärmung mit der Warmwasser-Wärmepumpe

Eine weitere Möglichkeit der Trinkwassererwärmung mittels Wärmepumpen ist es, überhaupt erst eine Wärmepumpe eigens für die Brauchwassererwärmung einzusetzen. Hierfür bieten sich Warmwasser-Wärmepumpen bestens an.

Dabei handelt es sich um steckfertige Kompaktgeräte mit meist 300 Liter-Warmwasserspeicher und der kompletten Wärmepumpeneinheit in einem. Sämtliche Komponenten wie Kompressor, Kondensator, Verdampfer, Expansionsventil und Steuerung sind im Gerät integriert und sitzen fast immer im oberen Bereich des Speichers. (Ochsner 2000, S.26)

Bei den Bauarten gibt es grob zwei Varianten:

- Warmwasser-Wärmepumpe Luft/Wasser
- Warmwasser-Wärmepumpe Direktverdampfung

Für eine Warmwasser-Wärmepumpe mit Direktverdampfung muss ein eigener Erdkollektorkreis verlegt werden, wodurch ein hoher Installationsaufwand erforderlich wird. Betrachtet man das Nutzen zu Aufwand Verhältnis, so spricht nicht viel für eine solche Anlage. Durch die kompakte Bauweise und die einfache Installation hat sich daher auf dem Gebiet der Warmwasser-Wärmepumpen vorwiegend die Luft/Wasser Variante durchgesetzt. (Ochsner 2000, S.27)

Die Warmwasser-Wärmepumpe-Luft/Wasser nutzt die Umgebungsluft in Abstellräumen, Technikräumen oder warmen Kellerräumen. Die warme Luft wird mit einem Ventilator über ein Kanalsystem angesaugt. Der Luft wird Energie entzogen und die nun kalte Luft wird wieder über ein Kanalsystem ausgeblasen. Der Wärmepumpenprozess ist der gleiche wie der bei den Heizungswärmepumpen. Der große Unterschied liegt darin, dass hier der Kondensator als „Heizschlange“ um den Boiler gewickelt ist und die Wärme an das Trinkwasser abgibt.

In Abbildung 42 ist der prinzipielle Aufbau einer Warmwasser-Wärmepumpe dargestellt.

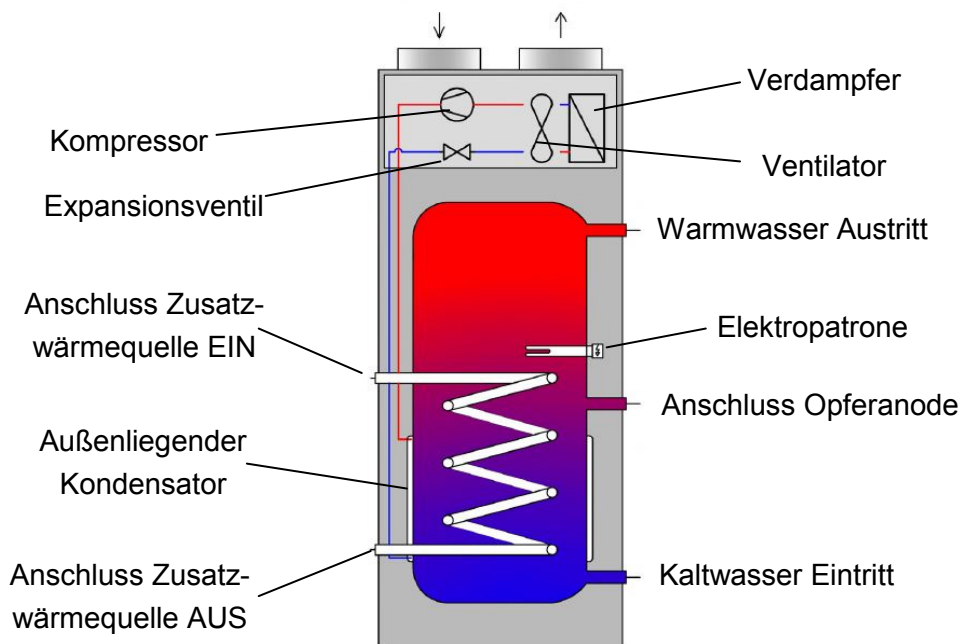


Abb. 42: Prinzipieller Aufbau einer Warmwasser-Wärmepumpe (KNV Energietechnik, Aqua 300 Prospekt)

Die Luftansaug- und Ausblasöffnungen können an verschiedenen Stellen liegen. Wichtig ist nur einen direkten Luftkurzschluss zu vermeiden. Bei den meisten Warmwasser-Wärmepumpen ist der Ventilator so ausgelegt, dass das Luftkanalsystem bis zu 10 Meter betragen kann. Um einen zusätzlichen Energiebereiter, Festbrennstoffkessel oder Solar, anzuschließen zu können, ist bei fast allen Geräten am Markt ein Register eingebaut. (Ochsner 2000, S.27)

Während der Sommermonate sind aufgrund der höheren Lufttemperaturen die höheren Wirkungsgrade zu erzielen. Durch das in der Brauchwasser-Wärmepumpe verwendete Kältemittel R134a sind höhere Warmwassertemperaturen von bis zu 65°C möglich. Erreicht die Wärmepumpe die eingestellte Trinkwassertemperatur, durch Unterschreitung einer bestimmten Umgebungstemperatur nicht, so schaltet sich die serienmäßig eingebaute Elektro-Zusatzheizung dazu und übernimmt die Spitzenabdeckung. (Sobotta 2008, S.51)

Neben der Trinkwassererwärmung bringt eine Warmwasser-Wärmepumpe noch einige weitere Einsatzmöglichkeiten und Vorteile mit sich. (KNV Energietechnik, 2013)

- Raumkühlung und Entfeuchtung
- Variable Luftführung
- Kombination Solar/Heizkessel
- Raumkühlung im Umluftbetrieb



Abb. 43: Anwendungsmöglichkeiten einer Warmwasser-Wärmepumpe (KNV Energietechnik, Aqua 300 Prospekt)

In Abbildung 43 sind die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten einer Warmwasser-Wärmepumpe dargestellt. (vgl. Waldschmidt 2007, S.178)

- Entfeuchtete Raumluft im Hauswirtschaftsraum unterstützt die Wäschetrocknung und Vermeidung von Feuchteschäden.
- Ein optionales Kanalsystem mit integrierten Umschaltklappen ermöglicht eine variable Luftführung.

- Der integrierte Wärmetauscher der Warmwasser-Wärmepumpe ermöglicht einen direkten Anschluss an eine Solaranlage oder an einen Heizkessel.
- Raumluft wird z.B. aus dem Lagerraum abgesaugt, in der Wärmepumpe gekühlt sowie entfeuchtet und wieder eingeblasen.

6 Trinkwassernormen

Im vorhergehenden Kapitel wurden die möglichen Arten der Trinkwassererwärmung mit Wärmepumpen behandelt. Die dort aufgezeigten Systeme werden hauptsächlich in Ein- bzw. Zweifamilienhäusern eingesetzt, denn dort sind keine Normvorschriften hinsichtlich der Trinkwasserhygiene einzuhalten. In Kapitel 6 werden die Anforderungen laut DVGW Arbeitsblatt W 551 und der in Österreich geltenden Trinkwassernorm B 5019 näher erläutert. Da beide Normen sehr umfangreich sind, werden nur die Punkte zusammengefasst, die für diese Diplomarbeit bedeutend sind. Darüber hinaus wird dargestellt, weshalb die Erfüllung ihrer Bestimmungen die Wärmepumpen an ihre Grenzen stößt.

6.1 DVGW Arbeitsblatt W 551

6.1.1 Norm-Titel

Das DVGW Arbeitsblatt W 551 wurde im April 2004 veröffentlicht. Die alten DVGW-Arbeitsblätter W 551 (1993) und W 552 (1996) wurden zu diesem neuen W 551 zusammengefasst. Der genaue Norm-Titel lautet:

„Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen“

6.1.2 Anwendungsbereich

Das Arbeitsblatt gilt für die Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen in:

- öffentlich und privat genutzten Gebäuden (Wohn-, Büro-, und Verwaltungsgebäude)
- Hotels
- Krankenhäusern

6.1.3 Begriffsbestimmungen

Anbei sind die wichtigsten Begriffe aufgelistet: (DVGW W551, 2004)

- Trinkwassererwärmer (TWE); Funktionseinheit zur Erwärmung und gegebenenfalls Speicherung von Trinkwasser
- Zirkulation; Umwälzung von erwärmtem Trinkwasser, um eine bestimmte Mindesttemperatur im Verteilsystem aufrecht zu erhalten
- Zirkulationsleitung; zusätzliche Leitung, die das Verteilsystem schließt und damit einen ständigen Kreislauf des erwärmten Trinkwassers ermöglicht sowie keine direkten Entnahmestellen beinhaltet
- Hygiene; die Summe aller Maßnahmen zur Vermeidung von gesundheitlichen Beeinträchtigungen des Einzelnen
- Legionellen; gesundheitsschädliche Bakterien im Trinkwasser

Die wichtigste Begriffserklärung in diesem Arbeitsblatt ist die Unterscheidung von Klein- und Großanlagen.

Kleinanlagen sind alle Anlagen mit Speicher-TWE oder zentralen Durchfluss-TWE in: (DVGW W551, 2004)

- Einfamilienhäusern und Zweifamilienhäusern (unabhängig vom Inhalt des TWE)
- Anlagen mit TWE mit einem Inhalt kleiner-gleich 400 Liter und einem Inhalt kleiner-gleich 3 Liter in jeder Rohrleitung zwischen dem Abgang aus TWE und Entnahmestelle. Zirkulationsleitungen werden nicht berücksichtigt.

Großanlagen sind alle Anlagen mit Speicher-TWE oder zentralen Durchfluss-TWE in: (DVGW W551)

- Wohngebäuden

- Hotels
- Altenheimen
- Krankenhäusern
- Sport- und Industrieanlagen
- Anlagen mit TWE mit einem Inhalt größer 400 Liter und einem Inhalt größer 3 Liter in jeder Rohrleitung zwischen dem Abgang aus TWE und Entnahmestelle. Planung und Ausführung von TWE-Anlagen

6.1.4 Anforderungen an den Betrieb

Neben einer Reihe von Anforderungen, welche die Rohrmaterialien, Armaturen und sonstigen Einbauteile betreffen, ist die für die Wärmepumpentechnik relevante Anforderung, die Betriebstemperatur. Hierbei unterscheidet das DVGW Arbeitsblatt eindeutig zwischen Großanlagen und Kleinanlagen. (DVGW W551, 2004)

Bei Großanlagen muss das Wasser am Warmwasseraustritt des TWE mindestens 60°C einhalten. Kurzzeitige, betriebsbedingte Absenkungen am Austritt des TWE sind tolerierbar. Beispielsweise bei einer Warmwasserentnahme. Ebenso ist es erforderlich bei Großanlagen eine Zirkulationsleitung zu installieren. Diese muss so ausgeführt werden, dass die Wassertemperatur im System um nicht mehr als fünf Kelvin gegenüber der Warmwasseraustrittstemperatur des TWE unterschritten wird.

Bei Kleinanlagen wird eine Austrittstemperatur von 60°C am TWE empfohlen, ist jedoch nicht verpflichtend. Betriebstemperaturen von unter 50°C sollten aber in jedem Fall vermieden werden.

Das DVGW Arbeitsblatt gibt ebenfalls vor, dass bei dezentralen Systemen keine Maßnahmen nötig sind und diese ohne Weiteres verwendet werden dürfen.

6.1.5 Ziele des DVGW W551

Das primäre Ziel dieses Arbeitsblattes ist es, die notwendigen technischen Maßnahmen und sonstigen Schutzvorkehrungen aufzuzeigen, um ein Gesundheitsrisiko durch Legionellen im Wasser aus der Trinkwasserinstallation zu verhindern.

6.2 ÖNORM B 5019

6.2.1 Norm-Titel

Die ÖNORM B 5019 wurde am 01.01.2007 veröffentlicht. Sie ersetzt die ÖNORM B 5019 aus dem Jahr 2006. Der genaue Norm-Titel lautet:

„Hygienerelevante Planung, Ausführung, Betrieb, Wartung, Überwachung und Sanierung von zentralen Trinkwasser-Erwärmungsanlagen“

6.2.2 Anwendungsbereich

In dieser ÖNORM werden die hygienerelevante Planung, Ausführung, Betrieb, Wartung, Überwachung und Sanierung von Trinkwasser-Erwärmungsanlagen beschrieben, in denen Trinkwasser zentral erwärmt wird. Die Ausführungen in dieser ÖNORM gelten im Besonderen für: (ÖNORM B 5019, 2007)

- Kranken- und Kuranstalten
- Pflegeeinrichtungen
- Badeeinrichtungen
- Beherbergungsbetriebe
- Gemeinschaftseinrichtungen
- sowie öffentliche Gebäude
- generell in Gebäuden, in denen Trinkwasser zentral erwärmt wird

Folgende Systeme werden in dieser ÖNORM nicht behandelt: (ÖNORM B 5019, 2007)

- Trinkwasser-Erwärmungsanlagen, welche nur eine Wohnung versorgen. (beispielsweise Durchlauferhitzer oder Fernwärmespeicher). Diese werden als dezentrale TWE bezeichnet.
- Trinkwasser-Erwärmungsanlagen in Ein- oder Zweifamilienhäusern
- Einrichtungen, in denen Legionellen-Wachstum auftreten kann, die aber nicht als zentrale Trinkwasser-Erwärmungsanlagen zu klassifizieren sind. (Beispielsweise zahnärztliche Behandlungseinheiten)

6.2.3 Begriffsbestimmungen

In der ÖNORM B 5019 (2007, S.5-8) sind die wichtigsten Begriffe folgendermaßen erklärt:

- Trinkwassererwärmer (TWE); Funktionseinheit zur Erwärmung und gegebenenfalls Speicherung von Trinkwasser
- Trinkwasser-Erwärmungsanlage (TWE-Anlage); dabei handelt es sich um eine Anlage, die aus Trinkwassererwärmer und Verteilsystem besteht
- Zirkulation; Umwälzung von erwärmtem Trinkwasser, um eine bestimmte Mindesttemperatur im Verteilsystem aufrecht zu erhalten
- Zirkulationsleitung; zusätzliche Leitung, die das Verteilsystem schließt und damit einen ständigen Kreislauf des erwärmten Trinkwassers ermöglicht sowie keine direkten Entnahmestellen beinhaltet
- Hygiene; die Summe aller Maßnahmen zur Vermeidung von gesundheitlichen Beeinträchtigungen des Einzelnen
- Legionellen; gesundheitsschädliche Bakterien im Trinkwasser
- Stagnation; wird kein oder wenig Trinkwasser aus Leitungen und Behältern entnommen, spricht man von Stagnation. Bei langer Stagnation (Abwesen-

heit durch Urlaub, Betriebsferien, Krankheit, in Hotels, Heimen, Krankenhäusern mit schlechter Auslastung der Zimmer) kann die Trinkwasserqualität in Speichern, Leitungen und Armaturen stark beeinträchtigt werden

6.2.4 Anforderungen an den Betrieb

Laut ÖNORM B 5019 muss sichergestellt werden, dass in Zeiten ohne Wasserentnahme eine Mindesttemperatur von 55 °C an jeder Stelle des TWE (ausgenommen Kaltwasserzuleitung) eingehalten wird. Ausgenommen davon sind Lade- und Aufheizzeiten von maximal 4 Stunden.

Das erwärmte Trinkwasser muss bei bestimmungsgemäßigem Betrieb beim Eintritt in das Verteilsystem eine Temperatur von mindestens 60 °C aufweisen. Diese Temperatur ist ganzjährig sicherzustellen. (ÖNORM B 5019, 2007, S.9)

Die oben geforderten Bestimmungen gelten für zentrale TWE, unabhängig davon ob Speicher- oder Durchflusssystem. Ebenso ist es erforderlich eine Zirkulationsleitung zu installieren. Diese muss so ausgeführt werden, dass die Wassertemperatur im System um nicht mehr als 5 K gegenüber der Warmwasseraustrittstemperatur des TWE unterschritten wird. (ÖNORM B 5019, 2007, S.12)

Zur besseren Veranschaulichung ist in der nachfolgenden Abbildung (Abb.44) eine zentrale Trinkwassererwärmungsanlage im Durchflusssystem dargestellt.

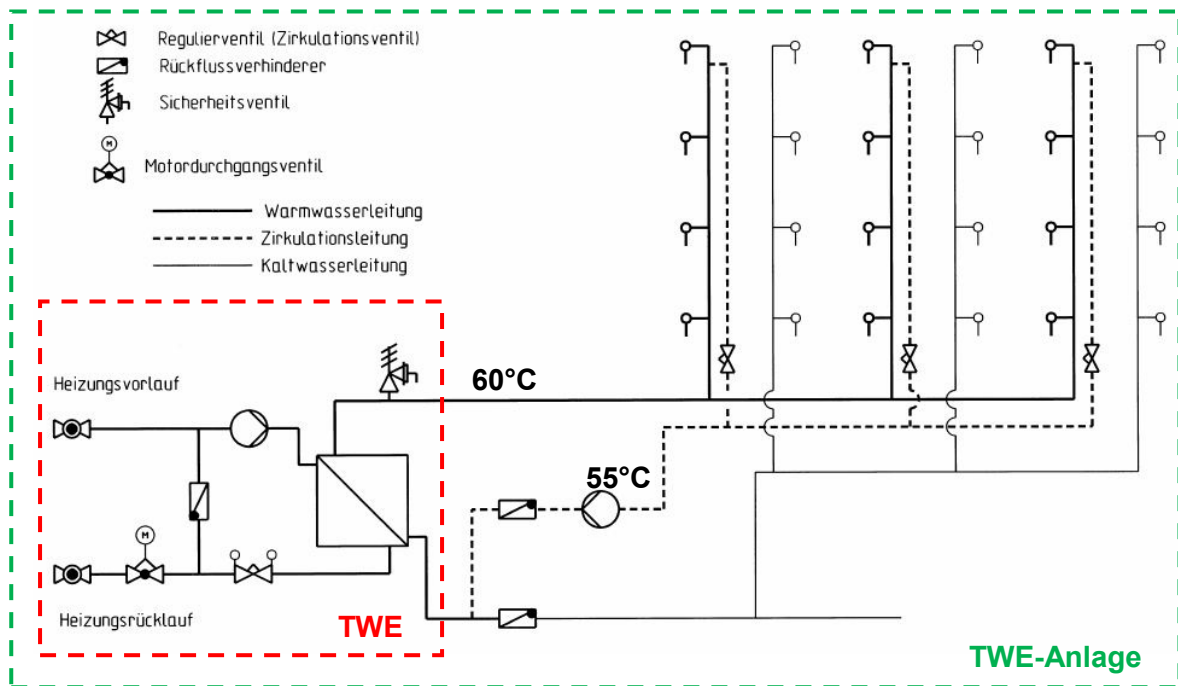


Abb. 44: TWE-Anlage im Durchflusssystem (ÖNORM B 5019, 2007, S.36)

In Abbildung 44 ist der Unterschied zwischen den Begriffen TWE und TWE-Anlage sehr gut zu erkennen. In jedem Fall sind die angeführten 60°C Warmwassertemperatur einzuhalten. Anstelle eines Wärmetauschers als TWE im Durchflusssystem, könnte hier auch ein Speicher eingesetzt werden.

6.2.5 Ziele der ÖNORM B 5019

Die Anspeisung von Trinkwasser-Erwärmungsanlagen erfolgt mit Trinkwasser. Dennoch kann es in Abhängigkeit vom hygienischen Zustand der TWE-Anlagen zu einer hygienisch relevanten mikrobiellen Belastung des erwärmten Trinkwassers, insbesondere mit Bakterien (Legionellen) kommen. Durch Einatmen der Erreger oder Kontakt mit diesen Erregern, kann es zum Auftreten von Infektionen kommen. Daher werden in dieser Norm Maßnahmen in zentralen Trinkwasser-Erwärmungsanlagen zur Vermeidung des Legionellenwachstums in Trinkwasser-Installationen beschrieben. (ÖNORM B 5019, 2007, S.4)

Ziel dieser ÖNORM ist eine Verhinderung von Infektionen durch erwärmtes Trinkwasser.

6.3 Legionellen

Wie in den Kapiteln 6.1 und 6.2 beschrieben, geht es in beiden Trinkwasser-Normen darum, das Warmwasser so aufzubereiten, dass ein Wachstum von Legionellen ausgeschlossen wird. In folgendem Unterkapitel wird daher auf folgende Fragen eingegangen:

„Was sind Legionellen, und wo kommen sie her?“

„Wie können sie für den Menschen gefährlich werden?“

Der Ursprung dieser Krankheit kommt aus dem Jahre 1976. Damals erkrankten 221 von 4400 Teilnehmern eines Treffens der „American Legion“ in Philadelphia im Bellevue-Stratford Hotel an einer schweren Lungenentzündung, 34 Menschen starben. Dort findet auch der Name „Legionärskrankheit“ seinen Ursprung. (Recknagel et al. 2005, S.9)

Legionellen sind natürlich vorkommende Wasser- und Bodenbakterien, die in sehr geringen Konzentrationen auch im Trinkwasser vorhanden sind. In ungünstig konzipierten TWE-Anlagen und schlecht wärmegeprägten Kaltwassersystemen, in schlecht gewarteten Armaturen, in Umgehungsleitungen, in Nasslöschleitungen, in Beckenbädern, Whirlpools, zahnärztlichen Behandlungseinheiten und Kühltürmen können sich diese Bakterien besonders bei Temperaturen zwischen 25 °C und 45 °C und stagnierendem Wasser vermehren.

Die folgende Abbildung (Abb.45) zeigt die Legionellen in vielfach vergrößerter Ansicht.



Abb. 45: Mikroskopische Ansicht von Legionellen
 (www.voesi.at/files/downloads/legionellen_hinker.pdf, S.5)

In vielen Fachbüchern werden Legionellen als „Aerobe gramnegative Stäbchen“ beschrieben. In Abbildung 40 ist dieser stäbchenförmige Aufbau sehr deutlich zu erkennen.

Durch Inhalation erregerrhaltiger Aerosole, fein versprühtem Wasser, aber auch durch Aspiration kann eine Übertragung von Legionellen auf den Menschen erfolgen. (Ploch 2004)

Aerosole: Stoffgemisch aus einem gasförmigen Stoff und flüssigen oder festen feinverteilten Bestandteilen, die man als Schwebstoffe bezeichnet.
 (http://www.enzyklo.de/Begriff/Aerosol)

Aspiration: Darunter versteht man das versehentliche Einatmen von Fremdkörpern oder Fremdstoffen in die Atemwege, vor allem in die Luftröhre.
 (http://www.enzyklo.de/suche.php?woord=Aspiration)

Die Erkrankung beginnt mit Fieber, Schüttelfrost, Übelkeit, Erbrechen, Gliederschmerzen und Husten. Im weiteren Verlauf kommt es zu starkem Auswurf und oft zu einer Hirnentzündung mit Bewusstseinsstörungen. Die Inkubationszeit beträgt zwei bis zehn Tage. (Ploch 2004)

Bei den zwei am häufigsten durch Legionellen verursachten Erkrankungen handelt es sich um: (Hinker 2006)

- Legionellen-Pneumonie: darunter versteht man eine schwere durch Legionellen verursachte Lungenentzündung, welche auch zum Tod führen kann
- Pontiac-Fieber: Das Pontiac-Fieber ist eine durch Legionellen verursachte Erkrankung des oberen Respirationstraktes, die ohne Pneumonie verläuft.

Folgender Abbildung (Abb.46) ist eine Statistik der gemeldeten Legionellen-Infektionen in Österreich in den Jahren 1993 bis 2002 zu entnehmen.

Jahr	Gesamt zahl	Inzidenz pro 100.000 pro Jahr	männlich	weiblich	Todesfälle
1993	17	0,21	10	7	6
1994	15	0,19	12	3	2
1995	17	0,21	10	7	4
1996	20	0,25	11	9	6
1997	20	0,25	9	11	6
1998	28	0,35	19	9	6
1999	41	0,51	25	16	3
2000	37	0,46	25	12	10
2001	39	0,49	30	9	2
2002	51	0,63	37	14	6
gesamt	285	0,35	188	97	51

Abb. 46: Legionellen-Infektionen Österreich
(www.voesi.at/files/downloads/legionellen_hinker.pdf, S.9)

Aus der Statistik kann herausgelesen werden, dass in einem Zeitraum von neun Jahren, 285 Personen aufgrund von Legionellen erkrankt und 51 davon verstorben sind. Die Dunkelziffer liegt laut dem VÖSI (Verband Österreichischer Sicherheits-Experten) weit höher. (www.voesi.at/files/downloads/legionellen_hinker.pdf)

7 Varianten zur energieoptimierten Warmwasser-Erzeugung

In folgendem Kapitel wird ausführlich auf die Problemstellung eingegangen, welche sich in Bezug auf eine normgerechte Trinkwassererwärmung mittels Wärmepumpen ergibt. In weiterer Folge werden einige Varianten durch Lösungsansätze aufgezeigt, die durch eine detaillierte Recherche ausfindig gemacht wurden. Dabei handelt es sich jedoch vorwiegend um Systeme im Entwicklungsstadium. Daher sind etwaige Betriebsdaten oder Effizienzkennzahlen nicht vorhanden. Ebenso werden Varianten angegeben, die einen Betrieb der Anlage zulassen, da sie außerhalb des Geltungsbereichs der Norm liegen.

7.1 Problemstellung

In Kapitel 1 wird die Problemstellung kurz erwähnt, jedoch nicht ausführlich behandelt.

Durch einige bautechnische und physikalische Faktoren sind Wärmepumpen in ihrer Betriebsweise eingeschränkt. Ausschlaggebend sind die thermodynamischen Eigenschaften des Kältemittels. Doch unabhängig davon, ob R407c oder R134a als Arbeitsmittel verwendet werden, stoßen „Standard-Wärmepumpen“ bei 65°C Vorlauftemperatur an ihre Grenzen. (Hartmann und Schwarzburger 2009, S.70)

Die folgende Abbildung (Abb.47) zeigt ein typisches Einsatzgrenzen-Diagramm einer Sole/Wasser-Wärmepumpe.

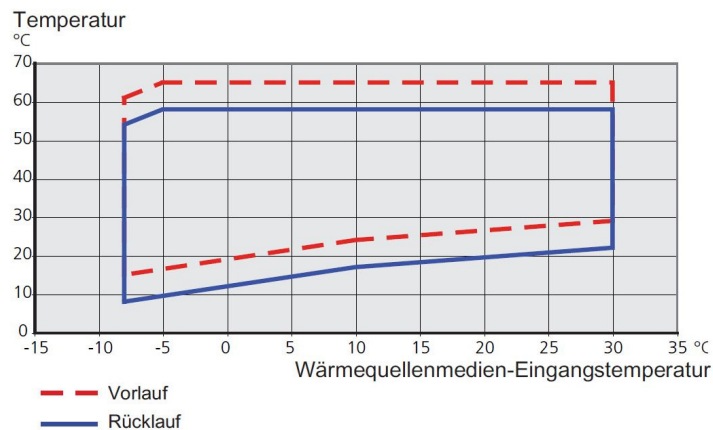


Abb. 47: Einsatzgrenze Sole/Wasser Topline 1145 (KNV Energietechnik GmbH, Handbuch NIBE F1145, 2013 S.71)

Die 65°C sind jedoch keinesfalls für den Dauerbetrieb geeignet. Ein sinnvoller WP-Betrieb sollte laut Hartmann und Schwarzbürger (2009, S.70) eine Vorlauftemperatur von 50°C bis maximal 55°C nicht übersteigen. Alles was darüber hinaus geht ist nicht nur absolut ineffizient, sondern beschleunigt auch ein Verschleissen der Wärmepumpen-Komponenten und verkürzt somit die Lebensdauer der Anlage.

Ebenso sieht es Ochsner (2000, S.34). Seiner Meinung nach sind Wärmepumpen ohnehin nur bei Niedertemperatursystemen einzusetzen und es sollten nur bei Warmwasserbedarf höhere Systemtemperaturen gewählt werden.

Die Problemstellung mit der sich diese Diplomarbeit auseinandersetzt, ergibt sich jedoch nicht nur durch die begrenzte Vorlauftemperatur der Wärmepumpen, sondern auch durch die in Kapitel 6 behandelten Normanforderungen. Wie in 6.1.4 und 6.2.4 beschrieben, muss bei Hotels, Wohngebäuden, Krankenhäusern und dergleichen die Warmwasser-Temperatur im System mindestens 60°C betragen.

Daraus ergeben sich folgende Fragestellungen:

- Gibt es Wärmepumpen am Markt, die höhere Vorlauftemperaturen fahren können?
- Macht der Einsatz einer elektrischen Nachheizung Sinn, um die Norm-Anforderungen zu erfüllen?

- Gibt es Systeme mit Wärmepumpen, die außerhalb des Norm-Geltungsbereichs liegen?

7.2 Lösungsvarianten durch Erfüllung der Normkriterien

In diesem Kapitel werden zwei Varianten beschrieben, welche die Normvorgaben erfüllen und somit zur Lösung führen.

7.2.1 Hochtemperatur-Wärmepumpen

Durch eine detaillierte Recherche konnten einige Produkte ausfindig gemacht werden, bei denen sich die jeweiligen Hersteller bereits Gedanken gemacht haben, Wärmepumpen auch bei Großbauten und Industrieanlagen einzusetzen.

7.2.1.1 Firma Ochsner

Einer der Vorreiter ist hierbei die Firma Ochsner. Das Unternehmen hat als einer der ersten europäischen Hersteller mit der industriellen Fertigung von Wärmepumpen begonnen und verfügt über bedeutende Marktanteile in Österreich, Deutschland und anderen EU-Mitgliedsstaaten. (Homepage Fa.Ochsner, <http://www.ochsner.com/de/das-unternehmen/firmenportrait/>)

Im Jahr 2012 hat die Firma eine modulierende Hochtemperatur-Industriewärmepumpe, die IWHSS, vorgestellt, die Vorlauftemperaturen bis 95 °C erreicht. (Fachartikel TGA Fachplaner 07/2012, <http://www.tga-fachplaner.de>)

Den Temperaturhub von 10 °C (Wärmequelle) auf 95 °C (Heizungswasser) hat Ochsner bei seiner Hochtemperatur-Wärmepumpe durch einen zweistufigen Kreisprozess gelöst. Für die erste Stufe wird das Kältemittel R134a und für die zweite Stufe das Kältemittel ÖKO1 (beides FKW-Sicherheits-Kältemittel) verwendet. Die größte technische Herausforderung bestand in der hohen Heißgastemperatur der zweiten Stufe bis 160 °C. Dafür musste eine besondere Verdichterkonstruktion (Schraubenverdichter) entwickelt werden. Weitere Herausforderungen waren die Optimierung der Steuerung der elektronischen Expansionsventile, insbesondere in der Anlaufphase.

Beim einstufigen Kreisprozess ist es ebenfalls möglich eine Vorlauftemperatur von 95 °C zu erreichen, dies ist jedoch nur durch erhöhte Wärmequellentemperaturen von 30 °C bis 55 °C ausführbar.

Die Entwicklung der IWHSS hat etwa drei Jahre gedauert und rund 1 Mio. Euro gekostet. (TGA Fachplaner, 07-2012). Das Ergebnis ist in folgender Abbildung (Abb.48) zu bewundern.



Abb. 48: IWHSS Hochtemperatur-Wärmepumpe Firma Ochsner (<http://www.tga-fachplaner.de/TGA-2012-7/Mit-zwei-Stufen-95-C-Vorlauftemperatur,QUIEPTM2NjE1NiZNSUQ9MTAwMjQ4.html>)

Das Problem bei dieser Wärmepumpe ist, dass sie erst bei einer Leistungsgröße von 60 kW verfügbar ist. Daher ist der Einsatz bei Wohnbauten unter 15 Wohneinheiten und kleineren Hotels nicht geeignet. Durch eine Kaskadenschaltung, das heißt Zusammensetzung mehrerer Wärmepumpen, können Anlagen mit Leistungen von bis zu 750 kW realisiert werden. Daher ist bei Krankenhäusern, großen Bürokomplexen sowie Hotels und Badeeinrichtungen diese Hochtemperatur-Wärmepumpe sehr gut einsetzbar. (Ochsner Prospekt „Wärmepumpen für große Leistungen“ 2014, S.8)

Als Wärmequellen sind hier sämtliche Varianten möglich. Leider ist der bisher einzig bekannte COP-Wert von 2,5 nur bei W10/W85 angeführt.

7.2.1.2 Firma Viessmann

Die Viessmann Group ist einer der international führenden Hersteller von Heiztechnik-Systemen. Das 1917 gegründete Familienunternehmen beschäftigt rund 9.600 Mitarbeiter, der Gruppenumsatz beträgt 1,86 Milliarden Euro. Neben vielen anderen Produkten, bietet Viessmann eine Vielzahl an verschiedenen Wärmepumpen in seiner Produktpalette an. (Viessmann Homepage, http://www.viessmann.at/de/press/wirtschaftspresse/wpt-103002_rtf.html)

Ebenso wie die Firma Ochsner, hat sich auch die Firma Viessmann mit dem Bau von Hochtemperatur-Wärmepumpen beschäftigt.

Das Ergebnis sind die Wärmepumpen „Vitocal 350-G“ und „Vitocal 350-G PRO“, welche Vorlauftemperaturen von bis zu 72°C bzw. 73°C schaffen. Das Leistungsspektrum ist folgendermaßen aufgegliedert:

- Vitocal 350-G: 7,3 kW bis 51,4 kW
- Vitocal 350-G PRO: 27 kW bis 198 kW

Herzstück des Kältekreis sind halbhermetische Hubkolbenverdichter. Je nach Leistung sind zwei oder drei Verdichter als Verbundschaltung im Kältekreis eingebaut. Somit sind auch bei Teillastbetrieb beste Effizienz und Betriebsweise gegeben. (Viessmann Prospekt „Wärmepumpen bis 2000 kW“ 04/2014, S.11)

Durch die große Leistungsbandbreite ist ein Einsatz, im Gegensatz zur Hochtemperatur-Wärmepumpe von der Firma Ochsner, auch bei kleineren Wohnbauten und Hotelanlagen sehr gut geeignet. Einen kleinen Nachteil birgt die begrenzte Auswahl der Wärmequelle. Die Vitocal 350-G ist leider nur in den Bauarten Solle/Wasser oder Wasser/Wasser verfügbar.

In den zwei nachfolgenden Abbildungen (Abb.49 & 50) sind beide Viessmann-Wärmepumpen dargestellt.

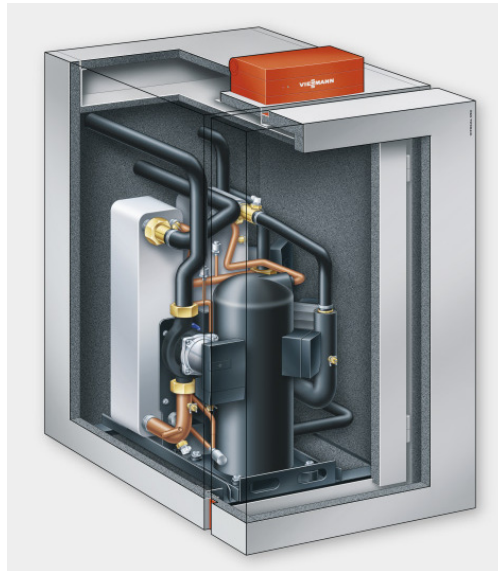


Abb. 49: Viessmann Vitocal 350-G (Prospekt Sole/Wasser Wärmepumpe Vitocal 350-G 06/2013, S.3)



Abb. 50: Viessmann Vitocal 350-G PRO (Planungsanleitung Vitocal 350-G PRO 04/2013, S.1)

Laut Herstellerangaben erreichen die Wärmepumpen bei 65°C Vorlauf einen COP-Wert von 2,5 bis 2,8, je nach Wärmequellen-Temperatur. (Viessmann Planungsanleitung Vitocal 350.G PRO 04/2013, S.29-34)

Auf den ersten Blick scheint dieser Wert relativ niedrig, vor allem wenn man die mit einer Sole/Wasser-Wärmepumpe maximal erreichbaren COP-Werte von 4 bis 4,5 vergleicht.

Doch das folgende Rechenbeispiel zeigt, dass auf die Dauer gesehen trotzdem Kosten gespart werden.

Annahmen: (Ing. Matija Marjanovic 2014)

- Anlage mit benötigter Energie (für Heizung und Warmwasser) von 100.000 kWh/a
- Heizung Vorlauf 35°C, Warmwasser normgerecht mit 65°C
- COP-Wert bei 35°C Vorlauf = 4,0
- COP-Wert bei 65°C Vorlauf = 2,5
- Wärmepumpen-Stromtarif = 0,15€/ kWh (Energie AG OÖ, Stand 06/2014)
- Gaspreis Österreich 06/2014 ca. 0,07 €/m³ (Energie AG OÖ, Stand 06/2014)
- Wirkungsgrad Gastherme nahezu 100%. Erdgas-Heizwert: ca. 10 kWh/m³
- Energieverbrauch des Gebäudes: 70% für die Heizung, 30% für das Warmwasser

Kosten mit Wärmepumpe:

$70.000 \text{ kWh/a} / 4,0 = 17.500 \text{ kWh/a}$ (Energieverbrauch Heizung)

$30.000 \text{ kWh/a} / 2,5 = 12.000 \text{ kWh/a}$ (Energieverbrauch Warmwasser)

$17.500 \text{ kWh/a} + 12.000 \text{ kWh/a} = 29.500 \text{ kWh}$ (Energieverbrauch Gesamt)

Betriebskosten => $29.500 \text{ kWh/a} \times 0,15 \text{ €/kWh} = 4.425 \text{ €/a}$

Kosten mit Gastherme:

$$100.000 \text{ kWh/a} / 10 \text{ kWh/m}^3 = 10.000 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$\text{Betriebskosten} \Rightarrow 10.000 \text{ m}^3/\text{a} \times 0,07 \text{ €/m}^3 = 7.000 \text{ €/a.}$$

Anhand dieser sehr vereinfachten Berechnung kann man den deutlichen Betriebskostenunterschied sehr gut erkennen. Mit jedem Jahr spart der Betreiber über 2.500 €. Trotz der höheren Investitionskosten einer Wärmepumpenanlage würde sich somit diese nach einigen Jahren amortisieren. Das Ausschlaggebende hierbei ist, dass die Wärmepumpe nur für die Warmwasser-Bereitung mit der niedrigen Leistungszahl von 2,5 arbeitet. Im Heizungsbetrieb, welcher den Großteil der Energiekosten ausmacht, erzeugt sie die Energie in einem Verhältnis von 4:1, und ist da natürlich stark im Vorteil gegenüber der Gastherme. Hoffmann (2009, S.15) hat ebenfalls einige Betriebskostenrechnungen durchgeführt welche die obigen Thesen bestätigen.

7.2.2 Zweistufige Trinkwassererwärmung mit Frischwassermodulen

Die KNV Energietechnik hat ihren Sitz in Schörfling am Attersee. Nach der Firmengründung 1993 durch Herrn Ing. Josef Köttl hat sich das Unternehmen rasch zu einem der führenden österreichischen Wärmepumpen-Produzenten entwickelt. Der Vertrieb erfolgt ausschließlich über ca. 250 Installationsunternehmen (KNV Vertriebspartner) in Österreich und Deutschland. Durch den Zusammenschluss mit Europas größtem Wärmepumpenproduzenten, der Firma Nibe AB aus Schweden, konnte das Unternehmen weiter wachsen und an „Know-how“ gewinnen. (Firmenhomepage KNV Energietechnik, <http://www.knv.at>)

Um Trinkwasser auch mit einer „Standard-Wärmepumpe“ normgerecht aufzubereiten, hat die Firma KNV Energietechnik eine ganz besondere Lösung parat.

Mithilfe von zwei seriell geschalteten Frischwassermodulen und einer Elektropatrone lässt sich das in Abbildung 51 dargestellte System verwirklichen.

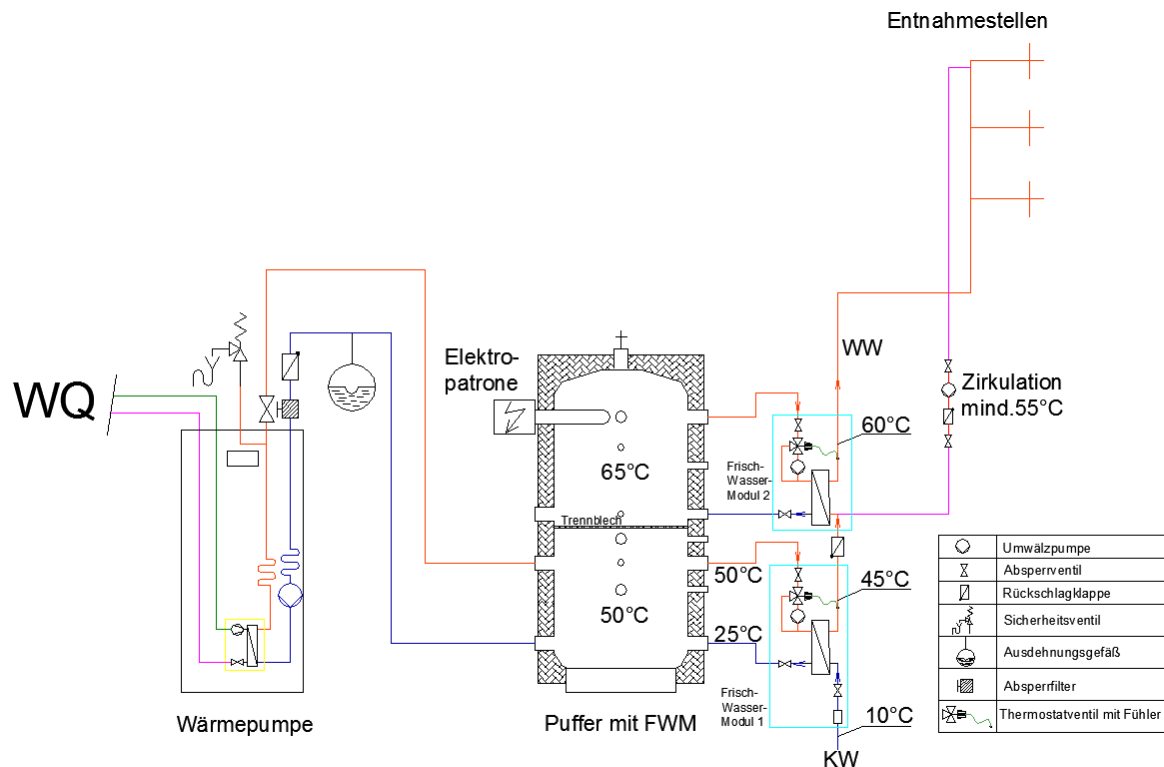


Abb. 51: Zweistufige Trinkwassererwärmung mit Frischwassermodulen (Ing. Matija Marjanovic 2014)

Die Wärmepumpe erwärmt das Heizungswasser im unteren Bereich des Pufferspeichers bis 50°C. Damit ist eine störungsfreie und noch halbwegs effiziente Betriebsweise der Wärmepumpe gegeben. Das Kaltwasser strömt vom Hauptversorgungsnetz mit einer Temperatur von 10°C über das erste Frischwassermodule. Dabei wird es, durch die von der Wärmepumpe im Puffer bereitgestellten 50°C, von 10°C auf 45°C erwärmt. Eine Elektropatrone erwärmt das Heizungswasser im oberen Bereich des Pufferspeichers auf 65°C. Das bereits auf 45°C erwärmte Trinkwasser strömt dann über das zweite Frischwassermodule und wird dort problemlos auf die geforderten 60°C erwärmt.

Es gibt auch bereits eine Referenzanlage in der dieses System eingebaut wurde. Dabei handelt es sich um ein Hotel dessen Name leider nicht veröffentlicht werden darf, doch laut Betreiber funktioniert die Anlage ohne Probleme und die geforderte Normtemperatur wird mühelos erreicht.

Da die Anlage erst letztes Jahr im Herbst in Betrieb gegangen ist, gibt es leider noch keine wirklichen Betriebszahlen wie Energiekosten, Betriebsstunden Wärmepumpe, Betriebsstunden Elektropatrone. Somit kann momentan nicht wirklich

festgestellt werden, ob und wann sich die Anlage amortisiert. (Firma KNV Energietechnik, Ing. Matthias Grabner)

7.3 Lösungsvarianten außerhalb des Geltungsbereichs

Um sich mit den ganzen Aufwänden bezüglich der Normvorschriften erst gar nicht befassen zu müssen, gibt es alternative Möglichkeiten. Wenn es die Umstände nicht anders zulassen, ist es sinnvoll die Norm zu umgehen bzw. nach Alternativen zu suchen, die nicht in den jeweiligen Geltungsbereich fallen. Dies wurde bereits im Römischen Reich so angewandt. (Heinrich Honsell, Römisches Recht, 7. Aufl., 2010, S. 12 ff.)

7.3.1 Dezentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmung

Dezentrale Durchfluss-TWE stellen eine Alternative zu zentralen TWE-Anlagen dar. Sie benötigen nicht die, wie bei zentraler Trinkwasser-Erwärmung, geforderten 60°C Systemtemperatur und werden im Gegensatz zu diesen ohne Zirkulation betrieben.

Das DVGW-Arbeitsblatt 551 (April 2004, S.7) gibt vor:

„Dezentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmer können ohne weitere Maßnahmen verwendet werden, wenn das dem Durchfluss-Trinkwassererwärmer nachgeschaltete Leitungsvolumen 3 Liter nicht übersteigt“

Dies bedeutet, dass die Leitungslänge zwischen Durchlauferwärmer und der Entnahmestelle möglichst klein gehalten werden sollte. Da jedoch diese Leitungsdimensionen meist mit 1/2 Zoll oder 3/4 Zoll Rohren ausgeführt werden, stellt dies keine besondere Schwierigkeit dar.

Die folgende Abbildung (Abb.52) zeigt dies sehr deutlich.

Ø Leitung	Ø Leitung	Radius	Volumen	Länge der Leitung 3L
in Zoll	in mm	Leitung in mm	l je m	
1/2"	12,70 mm	6,35 mm	0,127 l	23,6 m
3/4"	19,05 mm	8,525 mm	0,285 l	10,5 m
1"	25,5 mm	12,7 mm	0,506 l	5,92 m
1½"	38,1 mm	19,05 mm	1,140 l	2,63 m
2"	50,8 mm	25,4 mm	2,026 l	1,48 m

Abb. 52: Rohrlängen bei 3 Liter Leitungsinhalt (vgl. <http://www.h20-check.de/-/>)

Trotz nur drei Liter Leitungsinhalt können lange Anbindeleitungen ausgeführt werden. Falls die „3-Liter Regelung“ aufgrund der Wohnungsgröße oder den örtlichen Gegebenheiten der Entnahmestellen nicht erfüllt werden kann, muss die Anzahl der Durchfluss Trinkwassererwärmer erhöht werden.

Der grundsätzliche Aufbau einer solchen Anlage ist auch in der ÖNORM B 5019 dargestellt. (Abb.53)

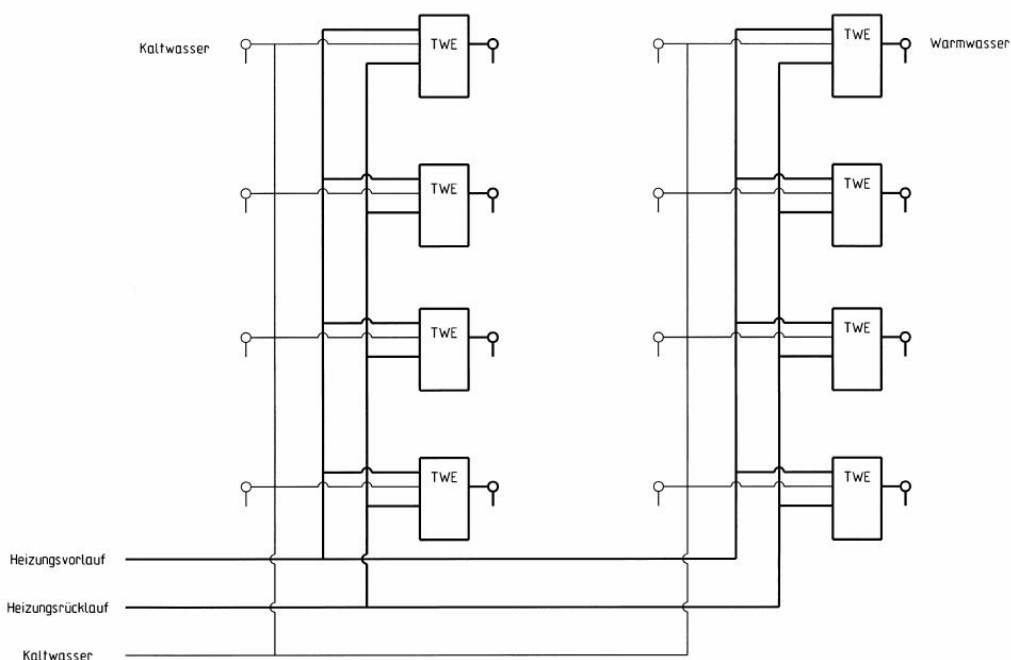


Abb. 53: Dezentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmung (ÖNORM B 5019, 2007, S.38)

7.3.2 Warmwasser-Wärmepumpen als dezentrale Variante

Wie in Kapitel 5.3.2 beschrieben, ist eine der Varianten zur Trinkwassererwärmung mittels Wärmepumpe, die Wärmepumpe selbst als solche einzusetzen.

Wird je Wohnung eine eigene Warmwasser-Wärmepumpe installiert, handelt es sich um eine dezentrale Trinkwassererwärmung. Somit entfallen hier die hohen Temperaturanforderungen. In nachkommender Abbildung (Abb.54) ist beispielhaft dargestellt, wie die Installation einer solchen Anlage aussehen könnte.

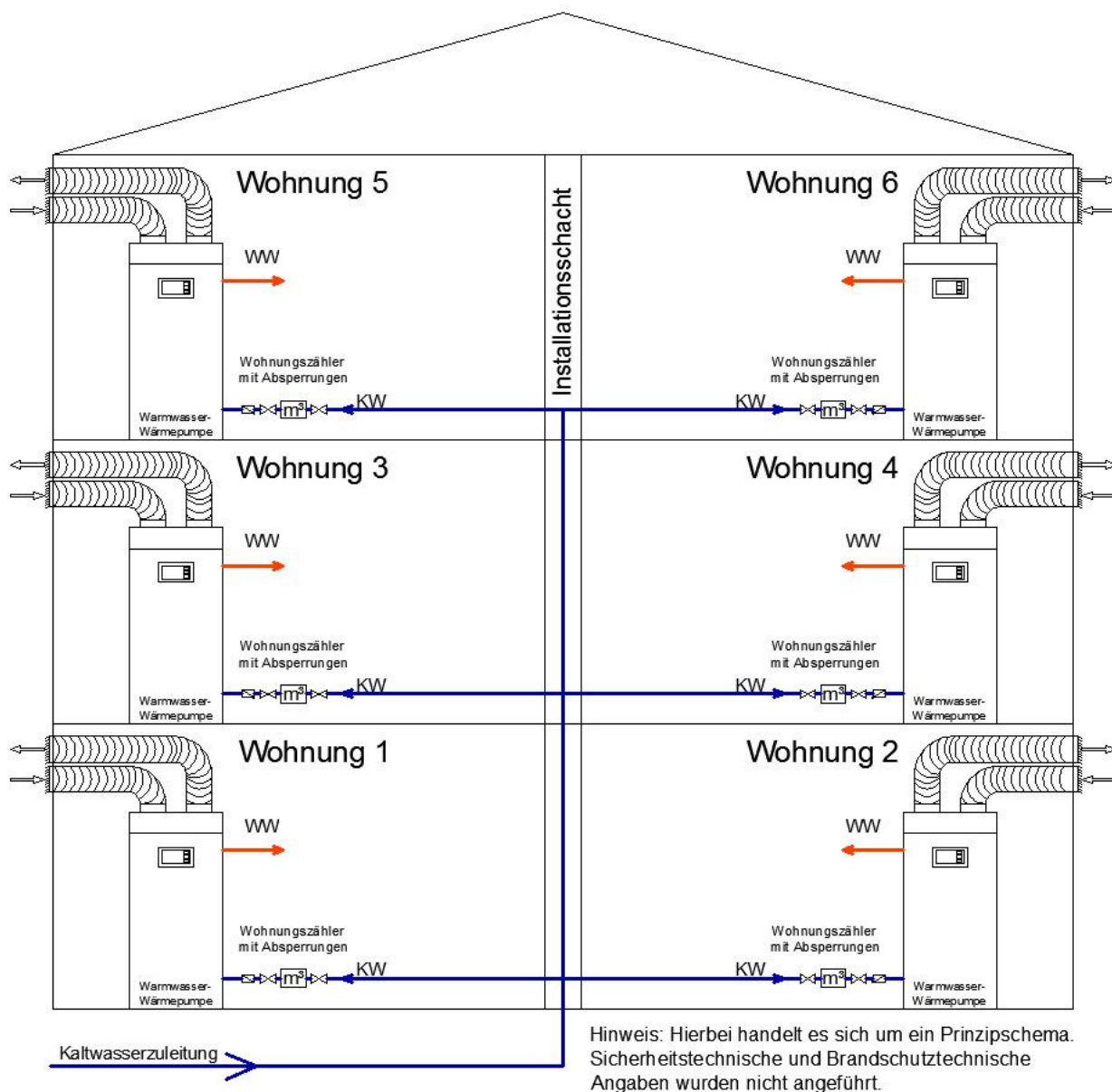


Abb. 54: Warmwasser-Wärmepumpe je Wohnung (Ing. Matija Marjanovic)

Ein großer Vorteil hierbei ist der geringe Installationsaufwand, da die Kaltwasserleitung ohnehin zu jeder Wohnung verlegt werden muss. Etwaige lange Vor- und Rücklaufleitungen entfallen somit. Die Voraussetzungen für diese Variante sind zum einen, dass der Platzbedarf für eine Warmwasser-Wärmepumpe gegeben ist. Zum anderen sollte der Aufstellungsort so gewählt werden, dass eine einfache Verlegung der Luftkanäle möglich ist. Dieses System findet vorwiegend im Wohnungsbau, eventuell auch bei Hotelanlagen, seine Anwendung.

8 Fazit und Ausblick

Nach detaillierter Auseinandersetzung mit der Thematik und einer intensiven Literaturrecherche wurde immer deutlicher, dass es auf dem Gebiet der Wärmepumpen zwar sehr viele Fachbücher gibt, jedoch keines davon sich explizit mit der normgerechten Trinkwassererwärmung beschäftigt.

Erst nach einigen Gesprächen mit verschiedenen Wärmepumpenherstellern kristallisierten sich mehrere Varianten zur Lösung des Problems heraus. An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass die Firma Ochsner sowie die Firma Viessmann mehrere Produkte anbieten, die darauf ausgerichtet sind die Normvorschriften zu erfüllen. Nennenswert sind hierbei die Hochtemperatur-Wärmepumpen beider Hersteller.

Der Vorteil liegt hier eindeutig im einfachen Aufbau der Anlage. Durch die Tatsache, dass allein mit Hilfe der Wärmepumpe die hohen Temperaturanforderungen erfüllt werden können, ist eine zentrale Trinkwassererwärmung möglich. Somit werden weitere Bauteile, welche eine meist komplizierte Anlagenhydraulik erfordern, nicht benötigt.

Der Nachteil einer solchen Anlage schlägt sich in den hohen Investitionskosten nieder. Deshalb sind laut Hoffmann (2009, S.12) eine Kostenanalyse und Wirtschaftlichkeitsberechnung unbedingt durchzuführen.

Die Firma KNV Energietechnik hat zwar keine Hochtemperatur-Wärmepumpe in der Produktpalette, zeichnet sich jedoch durch einen anderen interessanten Lösungsvorschlag aus.

Nach längerer Planungszeit wurde ein System entwickelt, welches ebenfalls den Normanforderungen entspricht. Im Prinzip wird das Kaltwasser über zwei nacheinander geschaltete Frischwassermodule befördert und dabei von 10°C auf 60°C erwärmt. Die erforderliche Energie zum Erwärmen des Trinkwassers wird über einen Pufferspeicher bereitgestellt. Dabei wird der untere Bereich des Puffers mit der Wärmepumpe auf 50°C und der obere Bereich mittels Elektropatrone auf 65°C erhitzt.

Der Hauptvorteil ist hierbei, dass die Wärmepumpe nur bis zu einer Systemtemperatur von 50°C arbeiten muss und somit noch relativ effizient betrieben wird. Die beiden Nachteile, die aus dieser Variante resultieren, sind erstens, die möglichen hohen Betriebskosten der elektrischen Nachheizung sowie zweitens, die relativ komplizierte Anlagenhydraulik.

Da bei den oben genannten Lösungsmöglichkeiten leider noch keine wirklichen Erfahrungswerte oder Betriebsdaten vorliegen, wurde der Fokus daher auf Varian-

ten gesetzt, welche die Normkriterien nicht erfüllen müssen, da sie außerhalb des Geltungsbereiches liegen. Die Rede ist von einer dezentralen Trinkwassererwärmung mittels Wärmepumpen. Darunter wird verstanden, dass die eigentliche Erwärmung des Trinkwassers erst in der jeweiligen Wohnung bzw. im jeweiligen Geschoss stattfindet. Damit können lange Warmwasserleitungen vermieden werden.

Solche Systeme können beispielsweise über dezentrale Durchfluss-TWE realisiert werden. Zu beachten gilt hierbei die „3-Liter Regelung“. Ein großer Vorteil liegt im Entfall der Zirkulationsleitung.

Eine weitere Möglichkeit ist es, je Wohnung eine eigene Warmwasser-Wärmepumpe zu installieren. Doch nach Rücksprache mit einigen Herstellern wird dies aufgrund hoher Anschaffungskosten und mangels verfügbaren Platzangebots selten bis nie ausgeführt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es derzeit eine Vielzahl an Umsetzungsmöglichkeiten für die Lösung dieser Problematik gibt, doch viele der Ideen oder Ansätze werden kaum bis gar nicht in die Praxis umgesetzt.

Es scheitert vorwiegend schon an der Bereitschaft der Betreiber etwas mehr Geld bei der Anschaffung auszugeben. Ebenfalls wird bei der Planung gespart, da vielen fälschlicherweise ein Fachplaner zu teuer erscheint.

Aus diesem Grund mangelt es derzeit an aussagekräftigen Ergebnissen. Brauchbare Betriebsdaten sowie Wirtschaftlichkeitsvergleiche wird es aller Voraussicht nach erst in einigen Jahren geben. Je schneller sich Erdöl und Erdgas dem Ende neigen, desto prompter wird wahrscheinlich nach effizienten Lösungen geforscht werden.

Nichtsdestotrotz kann mit Hinblick auf die Zukunft behauptet werden, dass die Wichtigkeit dieser Thematik deutlich zunehmen wird. Spätestens dann, wenn wieder einmal die Preise der fossilen Brennstoffe steigen.

Ziel dieser Diplomarbeit war es, umsetzbares Wissen zu vermitteln, aber auch das Verständnis für den Zusammenhang zwischen Normvorgaben und Ausführungsmöglichkeiten zu vertiefen und somit das vernetzte Denken zu fördern.

Literatur

- Bachmann, 2011 Bachmann, Stephan: Fachartikel Dimensionierung von Kältekomponenten – Teil 2: Thermostatische Expansionsventile - Immer ausreichende Überhitzung am Verdampferaustritt
URL:<http://www.danfoss.com/Germany/BusinessAreas/RefrigerationAndAirConditioning/Articles/Expansionsventile.htm>,
verfügbar am 06.06.2014
- Bachmann, 2012 Bachmann, Stephan: Fachartikel Komponenten für Wärmepumpen – Einführung
URL:<http://www.danfoss.com/Germany/BusinessAreas/RefrigerationAndAirConditioning/Articles/ComponentsForHeatPumps.htm>,
verfügbar am 06.06.2014
- Bongs, Danny, Helming 2013 Bongs, Constanze ; Danny, Günther; Helming, Sebastian; et al. : Wärmepumpen – Heizen, Kühlen, Umweltenergie nutzen,
Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag, 2013
- Bonin, 2009 Bonin, Jürgen: Handbuch Wärmepumpen : Planung und Projektierung,
1. Aufl. Berlin, DIN Deutsches Institut für Normung e. V, 2009
- DVGW Arbeitsblatt 511, 2004 Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen, Bonn, Beuth Verlag, 2004

- Geitmann, 2010 Geitmann, Sven; Erneuerbare Energien: mit neuer Energie in die Zukunft, Oberkrämer, Hydrogeit Verlag, 2010
- Haidenbauer, Winkelbauer, 2003 Haidenbauer, Herbert; Winkelbauer, Gerald: Gas- und Wasserinstallation Sanitär- und Klimatechnik, Wien, Jugend & Volk Verlag, 2003
- Hartmann, Schwarzbürger, 2009 Hartmann, Frank; Schwarzbürger, Heiko: Systemtechnik für Wärmepumpen : Solar- und Umweltwärme für Wohngebäude, München, Hüthig & Pflaum, 2009
- Hinker, 2006 Hinker, Manfred: VÖSI Fachtagung-Legionellen -wo lauern die Gefahren?
URL: www.voesi.at/files/downloads/legionellen_hinker.pdf
verfügbar am 25.06.2014
- Hoffmann, 2009 Hoffmann, Reinhard: Heizen mit der Wärmepumpe : leicht gemacht, Geld und Ärger gespart!, Poing, Franzis, 2009
- Huber, Schöffmann, Zottl, 2014 Huber, Heinrich; Schöffmann, Petra; Zottl, Andreas: Wärme!pumpen zur energieeffizienten Wärmeversorgung-Technologieleitfaden, Wien, März 2014
- Ploch, 2004 Ploch, Andreas :Fachartikel Legionellose (Legionärskrankheit)
URL: <http://www.netdoktor.at/krankheit/legionellen-7380>,
verfügbar am 25.06.2014

- Steffl, Heller, 2014 Steffl, Jochen: Fachartikel Grundlagen der Wärmepumpe
URL: <http://www.energie-loesungen.de/energie-loesungen/magazine/article.php?artID=106&chID=1160&PHPSESSID=d20b2d8cc8a825194b6dab08c9f44253>,
verfügbar am 14.06.2014
- Ochsner, 2000 Ochsner, Karl: Wärmepumpen in der Heizungstechnik :
Praxishandbuch für Installateure und Planer,
Heidelberg, Müller, 2000
- ÖNORM B 5019, 2007 Hygienerelevante Planung, Ausführung, Betrieb, Wartung,
Überwachung und Sanierung von zentralen Trinkwasser-
Erwärmungsanlagen, Wien, ON Österreichisches Nor-
mungsinstitut, 2007
- OÖ Energie-
sparverband,
2014 Wärmepumpe Förderungen
URL:<http://www.esv.or.at/foerderungen/sonstiges/waermepumpe/>, verfügbar am 29.06.2014
- Recknagel,
Sprenger,
Schramek
2008 Recknagel, Hermann; Sprenger, Eberhard; Schramek,
Ernst-Rudolf (Hrsg): Taschenbuch für Heizung und Klima-
technik einschließlich Warmwasser und Kältetechnik,
München, Oldenbourg Verlag, 2005
- Schlagnitweit,
Wagner, 2003 Schlagnitweit, Helmut; Wagner, Harald: Heizungs- und Lüf-
tungsinstallation Sanitär- und Klimatechnik,
Wien, Jugend & Volk Verlag, 2003
- Sobotta, 2008 Sobotta, Stefan: Praxis Wärmepumpe : Technik, Planung,
Installation,
Berlin, Solarpraxis, 2008

- TGA Fachplaner, 2012 Ochsner Hochtemperatur-Wärmepumpe Mit zwei Stufen
95°C Vorlauftemperatur; IN:TGA Fachplaner
Alfons W. Gentner Verlag GmbH & Co. KG , 07/2012,
- Waldschmidt, 2006 Waldschmidt, Wolfgang: ABC der Wärme in Wohngebäuden,
Frankfurt am Main, EW Medien und Kongresse, 2006
- Waldschmidt, 2007 Waldschmidt, Wolfgang: ABC der Wärmepumpe,
Frankfurt am Main, VWEW Energieverlag, 2007
- Wenzel, 2014 Wenzel, Bernhard: Fachartikel Maßgeblich für die Wärmeleistung und damit der Effizienz ist der Temperaturhub
URL:
<http://www.jahresarbeitszahlen.info/index.php/einfluesse/temperaturhub>
verfügbar am 18.06.2014

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Außerdem habe ich die Reinschrift dieser Arbeit einer Korrektur unterzogen.

Attnang-Puchheim, den 10.07.2014

Matija Marjanovic